



**TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501**

**RENCANA OPERASI PLTM PADA WADUK  
TUKUL PACITAN DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN KEBUTUHAN AIR  
OPTIMUM UNTUK IRIGASI DAN AIR BAKU  
TAHUN 2042**

**YANUAR AGUNG PRATAMA**

**NRP.3114 030 004**

**MAR'ATU RIFATIL JANNAH**

**NRP.3114 030 026**

**Dosen Pembimbing :**

**Dr. Ir. Suharjoko, MT**

**NIP. 19560119 1984031 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL**

**FAKULTAS VOKASI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2017**



**TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501**

**RENCANA OPERASI PLTM PADA WADUK  
TUKUL PACITAN DENGAN  
MEMPERTIMBANGKAN KEBUTUHAN AIR  
OPTIMUM UNTUK IRIGASI DAN AIR BAKU  
TAHUN 2042**

**YANUAR AGUNG PRATAMA**

**NRP.3114 030 004**

**MAR'ATU RIFATIL JANNAH**

**NRP.3114 030 026**

**Dosen Pembimbing :**

**Dr. Ir. Suharjoko, MT**

**NIP. 19560119 1984031 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL**

**FAKULTAS VOKASI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2017**



**THE FINAL PROJECT - RC145501**

**PLAN OPERATIONS PLTM ON TUKUL  
PACITAN RESERVOIR BASED ON OPTIMUM  
WATER NEEDS FOR IRRIGATION AND RAW  
WATER IN 2042**

**YANUAR AGUNG PRATAMA**

**NRP.3114 030 004**

**MAR'ATU RIFATIL JANNAH**

**NRP.3114 030 026**

**Counsellor Lecturer :**

**Dr. Ir. Suharjoko, MT**

**NIP. 19560119 1984031 001**

**DIPLOMA THREE STUDY PROGRAM CIVIL ENGINEERING**

**INFRASTRUCTURE CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT**

**VOCATION FACULTY**

**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**

**SURABAYA 2017**



**BERITA ACARA**  
**TUGAS AKHIR TERAPAN**  
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :  
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 12 Juli 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Rencana Oprasi PLTM pada Waduk Tukul Pacitan Berdasarkan Kebutuhan Air Baku, Irigasi dan PUTM dengan Optimalisasi Intensitas Tanam Tinggi dan Daya Listrik Maksimum		
Nama Mahasiswa 1	Yanuar Agung P.	NRP	3114030004
Nama Mahasiswa 2	Mar'atu Rifatul J.	NRP	3114030026
Dosen Pembimbing 1	Dr. Ir. Suharjo, MT NIP 19560119 198403 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
	Dr. Ir. Suharjo, MT NIP 19560119 198403 1 001
- judul yg jelas - paragraf -> diffusi - Tabel - Kesimpulan lebih jelas	
	Dr. Ir. Kuntjoro, MT NIP 19580629 198703 1 002
* tambahkan skema alur agar jelas alur model nya * sampaikan hasil tabel perhitungan di PPT dalam laporan word-nya * Ubah kesimpulan agar sesuai skenario yang sudah di susulkan, terdapat yang maksimum	 M. Hafizh I, ST. MT NIP 19860212 201504 1 001
- tata letak, tabel dan gambar - perintah PLTM - penjelasan tabel operasional	 S. Kamilia Aziz, ST. MT NIP 19771231 200604 2 001

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
Dr. Ir. Suharjo, MT NIP 19560119 198403 1 001	Dr. Ir. Kuntjoro, MT NIP 19580629 198703 1 002	M. Hafizh I, ST. MT NIP 19860212 201504 1 001	S. Kamilia Aziz, ST. MT NIP 19771231 200604 2 001

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjiilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Dr. Ir. Suharjo, MT NIP 19560119 198403 1 001	NIP -



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS VOKASI  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Ygnvar Agung Pratams 2 Maratu Rifatili Jannah  
NRP : 1 3114030004 2 3114030026  
Judul Tugas Akhir : Optimasi Daya Listrik pada Waduk Tukul Pacitan Dengan  
Pereimbangan Rencana Kebutuhan Air Baku dan Keburhan Air Irigasi.  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sunarjoko, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	9 Maret 2017	- Membuat profile hidrologi Seksi Ngring Klaten - Kebutuhan air untuk transmisi				
				B	C	K
2	4 April 2017	- Perbaikan kisi air baku		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
3	13 April 2017	- Perbaiki Perhitungan Kebutuhan air baku - Perbaiki Perhitungan kalibrasi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
4	12 Mei 2017	- Perhitungan air baku ok - Perbaiki Perhitungan Optimal		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
5.	22 Mei 2017	- Perbaiki Perhitungan optimal - Hitung Luasan Irigasi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
6	5 Juni 2017	- Menghitung Luasan - Perbaiki optimal dan DR		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.  
B = Lebih cepat dari jadwal  
C = Sesuai dengan jadwal  
K = Terlambat dari jadwal





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.dipkimasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

NRP

Judul Tugas Akhir

: 1 Vanuar Agung Pratama

2 Maratu Rifatil J.

: 1 3114030024

2 3114030026

: Rencana Operasi PLTM pada waduk Tukul Pacitan  
Dengan Mempertimbangkan Kebutuhan Air Optimum  
Untuk Irigasi dan Air Baku Tahun 2012

Dosen Pembimbing

: Dr. Ir. Suharto. M.T

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7	13 Juni 2017	- Perbaiki warna				
		-		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	14 Juni 2017	- Perhitungan PLTM				
		- Perhitungan optimasi debit		B	C	K
		Kontinu		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Hitungan Tinggi jabatan PLTM				
9.	16 Juni 2017	- Perbaiki Grafik hasil optimasi		B	C	K
		debit Andalan, debit kontinu		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perbaiki skema PLTM				
10.	20 Juni 2017	- Perbaiki hitungan operasional		B	C	K
		waduk		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perbaiki Deskripsi hasil optimasi				
11.	22 Juni 2017	- Perbaiki Deskripsi Kesimpulan		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal





LEMBAR PENGESAHAN

RENCANA OPERASI PLTM PADA WADUK TUKUL  
PACITAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN  
KEBUTUHAN AIR OPTIMUM UNTUK IIRIGASI DAN  
AIR BAKU TAHUN 2042

**TUGAS AKHIR TERAPAN**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada

Program Studi Diploma Tiga Teknik Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Mahasiswa I



Yanuar Agung Pratama

3114030004

Mahasiswa II



Mar'atu Rifatil Jannah

3114030026

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Suharijoko, MT

NIP. 19560119 1984031 001

27 JUL 2017



**RENCANA OPERASI PLTM PADA WADUK TUKUL  
PACITAN DENGAN MEMPERTIMBANGKAN  
KEBUTUHAN AIR OPTIMUM UNTUK IRIGASI DAN AIR  
BAKU TAHUN 2042**

**Nama Mahasiswa : 1. Yanuar Agung Pratama**

**2. Mar'atu Rifatil Jannah**

**Nrp : 1. 3114 030 004**

**2. 3114 030 026**

**Program Studi : Diploma Tiga Departemen  
Teknik Infrastruktur Sipil**

**Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Suharjoko. MT.**

**Abstrak**

Pertambahan penduduk dari tahun ke tahun dan potensi lahan irigasi yang dapat dimanfaatkan dengan maksimal tanpa diiringi penambahan jumlah sumber air dan sifat penggunaan air pada masyarakat yang berlebihan saat penghujan membuat kekeringan saat kemarau. Sehingga diharapkan memanfaatkan air yang tersedia secara optimal terutama yang ada didalam waduk. Karena air yang ada didalam waduk dapat berguna untuk meningkatkan produktifitas irigasi dan meningkatkan daya pada PLTM. Waduk Tukul Pacitan yang mempunyai potensi besar untuk manfaat masyarakat sekitar seperti kebutuhan air baku, kebutuhan untuk irigasi, dan untuk PLTM.

Dari dua hasil optimasi didapatkan intensitas tanam 300%, dengan merencanakan skenario pada setiap awal bulan dilakukan rencana kegiatan awal tanam padi dan untuk polowijo rencana kegiatan awal tanam dilakukan hanya pada bulan Juni, Juli dan Agustus, yang menghasilkan kebutuhan air bersih sebesar 55.51 juta m<sup>3</sup>, daya yang dihasilkan PLTM sebesar 23.85 MW.

**Kata Kunci : Waduk Tukul, PLTM, Irigasi dan Air Baku**

**PLAN OPERATIONS PLTM ON TUKUL PACITAN  
RESERVOIR BASED ON WATER NEEDS TO IRRIGATION  
AND WATER UNTIL 2042**

**Student Names** : 1. Yanuar Agung Pratama  
2. Mar'atu Rifatil Jannah  
**Nrp** : 1. 3114 030 004  
2. 3114 030 026  
**Majors** : *Diploma Three Civil Infrastructure  
Engineering Departement*  
**Counsellor Lecturer** : Dr. Ir. Suharjoko. MT.

**Abstract**

*The population-added year of yhe year and potential irrigation land can be harnessed with the most without of water and the use of water and use of water to society.so its expected to use water optimally especially in the reservoir. Because the water in the reservoir can increase irrigation productivity and on PLTM. Tukul Pacitan reservoir that has great potential for the needs of raw water, irrigation, and PLTM.*

*From two Optimizing result in the intensity of planting 300% by planning a scenario on every early month's initial plant for padi and to palawijo early activities on beginning of month only in june, juli, and agustus. Which produces the needs of clean water by 55.51 million m<sup>3</sup>, the power generated by 23.85 MW.*

**Key Words** : Tukul Reservoir, PLTM, Irrigation and Raw Water

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah , puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala kemudahan, kelancaran dan petunjuk-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Sholawat serta salam juga selalu tercurah kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan para sahabatnya, dan tidak lupa juga saya ucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, ibu dan keluarga yang selalu memotivasi dalam setiap kebaikan menuju kesuksesan dunia dan akhirat.
2. Bapak Machsus, ST., MT. selaku kepala program studi Diploma 3 Teknik Sipil-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Suharjoko, MT. selaku dosen pembimbing
4. Dosen wali yang selalu menjadi inspirasi dalam menyusun penulisan tugas akhir
5. Bapak yang berada di institusi terkait atas kemudahan mendapatkan data di lapangan
6. Saudaraku rekan-rekan seperjuangan Departement Teknik Infrastruktur Sipil dan pihak lain yang tidak mungkin disebutkan.

Kami menyadari tentunya masih banyak kekurangan dan koreksi dalam penulisan tugas akhir ini, untuk itu kami meminta maaf atas segala kekurangan yang terdapat dalam penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat untuk kita semua.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, 12 Juli 2017

**Penulis**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
Abstrak .....	iii
Abstract .....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Rumusan Masalah .....	2
1.3.Tujuan .....	2
1.4.Manfaat .....	2
1.5.Batasan Masalah .....	2
1.6.Lokasi.....	3
BAB II .....	5
PAPARAN DATA DAN DASAR TEORI PERENCANAAN.....	5
2.1 Data Teknis Waduk .....	5
2.2 Data Jumlah Penduduk.....	8
2.3 Data Klimatologi.....	8
2.3.1 Temperatur Udara .....	8
2.3.2 Penyinaran Matahari .....	9
2.3.3 Kecepatan Angin .....	10
2.3.4 Kelembaban Udara.....	10
2.4 Data Debit Sungai .....	11
2.5 Dasar Teori Perencanaan.....	12
2.5.1. Analisa Debit Andalan .....	12
2.5.2. Curah Hujan Rata - rata.....	13
2.5.3. Curah Hujan Andalan.....	13
2.5.4. Curah Hujan Efektif .....	14
2.5.5. Evapotranspirasi .....	14
2.5.6. Kebutuhan Air di Sawah ( NFR ).....	15
2.5.7. Kebutuhan Air Untuk Padi .....	16
2.5.8. Kebutuhan Air Untuk Palawija .....	16
2.5.9. Penyiapan Lahan .....	16
2.5.11.Kebutuhan Air Untuk Konsumtif Tanaman .....	17

2.5.12. Perencanaan Pola Tanam.....	18
2.5.13. Perkolasi .....	18
2.5.14. Efisiensi Irigasi.....	19
2.5.15. Kebutuhan Air di Intake .....	19
2.5.16. Koefisien Tanaman.....	19
2.5.17. Perhitungan Pertumbuhan Penduduk .....	20
2.5.18. Standart Kebutuhan Air Baku .....	22
2.5.19. Kebutuhan Air Pembangkit Listrik Microhidro ...	25
2.6 Optimasi dengan Program Linier Microsoft Excel Add-ins Solver.....	25
BAB III.....	29
METODOLOGI DAN ALUR PERENCANAAN .....	29
3.1. Survey Pendahuluan dan Studi Literatur.....	29
3.2. Pengumpulan Data .....	29
3.3. Analisis Data / Proses Perhitungan .....	30
3.4. Analisa Hasil Optimasi.....	30
3.5. Kesimpulan dan Saran.....	30
BAB IV.....	33
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1 Analisis Kebutuhan Air Irigasi.....	33
4.1.1 Evapotranspirasi Potensial .....	33
4.1.2 Hujan Andalan.....	37
4.1.4 Rencana Pola Tanam dan Sistem Penggolongan.	41
4.1.5 WLR ( <i>Water Layer Requirement</i> ) .....	41
4.1.6 Etc.....	42
4.1.7 Kebutuhan Air Untuk Tanaman .....	44
4.2 Analisis Debit Sungai.....	47
4.2.1 Debit Sungai Kali Grindulu AWLR Gunungsari	47
4.2.2 Debit Andalan.....	49
4.3 Penelusuran Lahan Irigasi .....	52
4.4 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk.....	54
4.4.1 Proyeksi Penduduk Metode Aritmatika.....	55
4.4.2 Prediksi Jumlah Penduduk (Metode Geometrik)	56
4.4.3 Prediksi Jumlah Penduduk (Metode <i>Least Square</i> ).	58
4.4.4 Korelasi (R) antara Metode Aritmatika, Metode Geometrik dan Metode <i>Least Square</i> .....	59



4.5 Kebutuhan Air.....	61
4.6 Optimasi Irigasi dengan Metode Add-ins Solver Mic. Excel.....	62
4.6.1 Analisa Optimasi Berdasarkan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum .....	62
4.6.2 Perhitungan PLTM dengan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum .....	69
4.6.3 Optimasi Menggunakan Debit Untuk Irigasi Direkayasa Kontinu Sepanjang Tahun .....	73
4.6.4 Optimasi Menggunakan Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Sepanjang Tahun dengan Tingkat Pemberian Air Sampai 80% .....	77
4.6.5 Perhitungan PLTM dengan debit rekayasa irigasi kontinu .....	85
4.6.6 Rekapitulasi Tiga Alternatif Perhitungan Optimasi . .....	90
4.6.7 Operasional Waduk.....	91
BAB V.....	95
KESIMPULAN DAN SARAN .....	95
5.1 Kesimpulan.....	95
5.2 Saran.....	96
DAFTAR PUSTAKA.....	97
LAMPIRAN.....	99
BIOGRAFI PENULIS.....	114



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Volume Tampungan Waduk.....	6
Tabel 2.2 Data Stasiun Hujan Nawangan.....	7
Tabel 2.3 Data Jumlah Penduduk.....	8
Tabel 2.4 Data Temperatur.....	9
Tabel 2.5 Data Penyinaran Matahari.....	9
Tabel 2.6 Data Kecepatan Angin.....	10
Tabel 2.7 Data Kelembaban Relatif.....	11
Tabel 2.8 Data Debit Sungai Kali Grindulu AWLR Gunungsari..	12
Tabel 2.9 Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan.....	17
Tabel 2.10 Tingkat Perkolasi.....	19
Tabel 2.11 Harga Koefisien Tanaman.....	20
Tabel 2.12 Penentuan Tingkat Layanan Air Baku.....	23
Tabel 2.13 Kategori Kebutuhan Air non Domestik.....	24
Tabel 4.1 Nilai Koreksi Bulanan (c) untuk rumus Penmann Modifikasi.....	35
Tabel 4.2 Data Klimatologi Pacitan Tahun 2014 rerata tahun 2014- 2016.....	36
Tabel 4.3 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial.....	36
Tabel 4.4 Hujan Andalan.....	38
Tabel 4.5 Re Padi dan Re Palawija.....	40
Tabel 4.6 Harga Koefisien Tanaman.....	42
Tabel 4.7 Kebutuhan Air Irigasi Saat Penyiapan Lahan (LP).....	43
Tabel 4.8 Etc.....	45
Tabel 4.9 Rencana Pola Tanam dan Kebutuhan Airnya.....	46
Tabel 4.10 Perhitungan Debit Sungai dengan metode FJ. Mock...	48
Tabel 4.11 Debit Andalan.....	51
Tabel 4.12 Data Penduduk tahun 2007-2015.....	54
Tabel 4.13 Perhitungan Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Aritmatika Tahun 2042.....	56
Tabel 4.14 Jumlah Penduduk Desa Gayuhan.....	57
Tabel 4.15 Perhitungan Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode Geometrik Tahun 2042.....	57
Tabel 4.16 Contoh Perhitungan Proyeksi Penduduk Desa Gayuhan.....	58

Tabel 4.17 Perhitungan Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Metode <i>Least Square</i> Tahun 2042.....	59
Tabel 4.18 Tabel Perbandingan Nilai Korelasi.....	61
Tabel 4.19 Perhitungan Kebutuhan Air Baku.....	62
Tabel 4.20 Hasil Optimasi Berdasarkan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum.....	64
Tabel 4.21 Luas Hasil Optimasi Dengan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum.....	65
Tabel 4.22 Keterangan Luas Lahan.....	67
Tabel 4.23 Perhitungan PLTM Dengan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum.....	72
Tabel 4.24 Hasil Optimasi Menggunakan Debit Irigasi Direkayasa Kontinu Sepanjang Tahun.....	75
Tabel 4.25 Luas Hasil Optimasi Dengan Debit Irigasi Direkayasa Kontinu Sepanjang Tahun.....	76
Tabel 4.26 Hasil Optimasi Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Dengan Tingkat Pemberian 80%.....	79
Tabel 4.27 Luas Hasil Optimasi Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Dengan Tingkat Pemberian 80%.....	80
Tabel 4.28 Keterangan Luas Lahan.....	82
Tabel 4.29 Perhitungan PLTM Dengan Debit Irigasi Direkayasa Kontinu.....	88
Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Tiga Alternatif Hasil Optimasi.....	90
Tabel 4.31 Operasional Waduk Berdasarkan Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Dengan Tingkat Pemberian 80%.....	93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Pacitan.....	3
Gambar 1.2 Peta rencana Waduk Tukul.....	4
Gambar 2.1 Kurva Tampungan Waduk.....	6
Gambar 3.1 Bagan Alur Pengerjaan Tugas Akhir.....	31
Gambar 4.1 Grafik Hasil Kalibrasi.....	49
Gambar 4.2 Jaringan Luas Irigasi Sebelum Optimasi.....	52
Gambar 4.3 Jaringan Luas Irigasi Setelah Optimasi.....	53
Gambar 4.4 Grafik Pertumbuhan Penduduk Metode Aritmatika.....	59
Gambar 4.5 Grafik Pertumbuhan Penduduk Metode Geometrik.....	60
Gambar 4.6 Grafik Pertumbuhan Penduduk Metode <i>Least Square</i> .....	60
Gambar 4.7 Sketsa Pola Tanam Hasil Optimasi.....	66
Gambar 4.8 Grafik Optimasi Menggunakan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum.....	68
Gambar 4.9 Grafik Kebutuhan Air Irigasi.....	69
Gambar 4.10 Grafik Pemilihan Turbin Dengan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum.....	71
Gambar 4.11 Grafik Hasil Optimasi Dengan Debit Untuk Irigasi Direkayasa Sepanjang Tahun.....	77
Gambar 4.12 Sketsa Pola Tanam Hasil Optimasi.....	81
Gambar 4.13 Grafik Hasil debit rekayasa irigasi kontinu dengan tingkat pemberian 80%.....	83
Gambar 4.14 Grafik Kebutuhan Irigasi.....	84
Gambar 4.15 Grafik Pemilihan Turbin dengan debit rekayasa irigasi kontinu.....	86
Gambar 4.16 Skema Alur Pemanfaatan Air.....	87
Gambar 4.17 Perbandingan Daya.....	89
Gambar 4.18 Kebutuhan Air Irigasi.....	91
Gambar 4.19 Kurva Tampungan Waduk.....	93



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Air merupakan kebutuhan pokok yang terus meningkat permintaannya seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Ketersediaan air yang tidak merata antara musim hujan dan musim kemarau mendorong manusia untuk memecahkan masalah tersebut dengan membuat tampungan yang dapat menampung air pada dua musim tersebut.

Indonesia kekurangan lahan irigasi maka dari itu dibangun waduk salah satu daerah yang kekurangan adalah kabupaten pacitan, dimana dibangun Waduk Tukul di Kabupaten Pacitan. Pembangunan waduk ini dapat dimanfaatkan untuk ekstensifikasi irigasi dan kebutuhan air baku. Sebelum digunakan untuk irigasi dan air baku, air tersebut dapat dimanfaatkan untuk Pembangkit Tenaga Listrik Microhidro (PLTM). Penelusuran luasan irigasi di pacitan mencapai 6036.663 ha.

Pembangunan waduk ini sangat penting dilihat dari berbagai sudut kebutuhan air, terutama kebutuhan air yang semakin lama semakin meningkat dan ketersediaan air yang semakin lama semakin sedikit. Jumlah air untuk irigasi dan air baku untuk memutar turbin pada PLTM akan mengalami fluktuatif dari waktu ke waktu, sehingga pada suatu periode dapat terjadi kelebihan air dan periode lainnya dapat terjadi kekurangan air bagi tanaman dan putaran turbin PLTM yang tentunya pada saat musim kemarau membutuhkan air yang cukup banyak sedangkan ketersediaan air yang terbatas. Oleh karena itu, perlu dipikirkan bagaimana pengaturan air untuk irigasi yang baik tetapi juga menghasilkan energi listrik PLTM yang lebih besar.

**1.2. Rumusan Masalah**

- 1 Berapa kebutuhan baku untuk air baku, kebutuhan air untuk tanaman irigasi dan berapa kapasitas waduk ?
- 2 Bagaimana menentukan pola tanam yang optimum pada irigasi setelah digunakan sebagai air baku ?
- 3 Berapa daya yang dihasilkan setelah debit optimasi ?

**1.3. Tujuan**

- 1 Menghitung perkiraan kebutuhan air baku dan kebutuhan untuk tanaman irigasi serta menghitung kapasitas air pada waduk.
- 2 Analisa optimasi pola tata tanam irigasi dan memenuhi kebutuhan air bersih.
- 3 Dapat Mengetahui daya PLTM.

**1.4. Manfaat**

Manfaat dari optimasi dan rencana operasi Waduk Tukul sebagai bahan pertimbangan dalam pengoperasionalan Waduk Tukul, yang dicapai intensitas tanam optimum dan daya listrik tinggi.

**1.5. Batasan Masalah**

Titik berat masalah ini adalah penjatahan air yang optimal dari waduk Tukul sehingga keuntungan dari debit yang ada tersebut dapat maksimal. Adapun batasan masalah adalah sebagai berikut

1. Tidak membahas aspek ekonomi dan sosial.
2. Tidak membahas dampak lingkungan akibat pembangunan (AMDAL).
3. Tidak menganalisa sedimentasi di waduk
4. Tidak membahas biaya konstruksi waduk
5. Tidak membahas jaringan PLTM



## 1.6. Lokasi

Perencanaan Pembangunan Waduk Tukul dilakukan di kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan. Proyek Waduk Tukul ini berjarak  $\pm 25$  Km dari Kota Pacitan dilihat pada gambar 1.1 dan  $\pm 200$  Km dari Kota Surabaya Jawa Timur, sedangkan peta rencana waduk tukul seperti gambar 2.1 .



Gambar 1.1 Peta Lokasi Pacitan

Sumber: PT. Brantas Abipraya, 2012

Sumber: PT. Brantas Abipraya, 2012

## **BAB II**

### **PAPARAN DATA DAN DASAR TEORI PERENCANAAN**

#### **2.1 Data Teknis Waduk**

Data teknik yang dimiliki Waduk Tukul Pacitan diantaranya:

##### **1. Daerah Pengaliran Sungai**

- Nama Sungai : Kali Telu
- Luas DAS : 47,8 Km<sup>2</sup>
- Panjang Sungai : 17,5 Km
- Hujan Tahunan rerata : 2.246 mm
- Data Curah Hujan Stasiun Nawangan pada tabel 2.2
- Data Klimatologi (Stasiun Lanud Pacitan) pada subbab 2.3

Sumber: PT. Brantas Abipraya, 2012

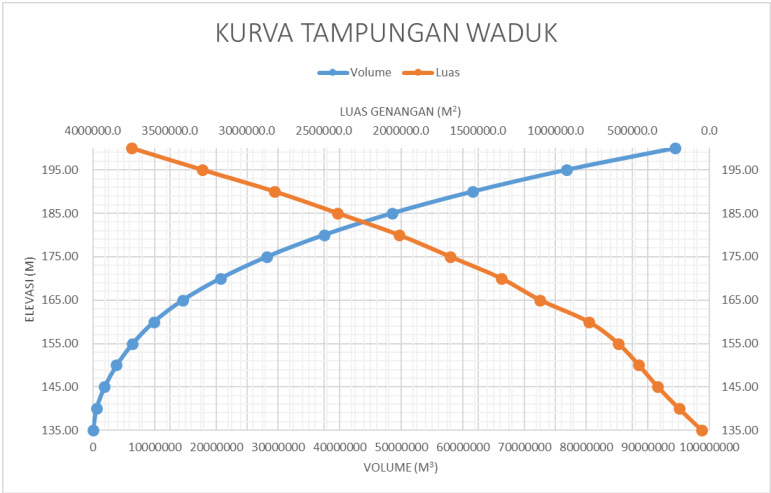
##### **2. Waduk Tukul**

- Luas genangan pada MAN : 44,81 Ha
- Elevasi dasar sungai : + 130,00 m
- Elevasi tampungan mati : + 175,91 m
- Elevasi muka air normal : + 192,10 m
- Daya PLTM : 640 kW
- Luas dan volume tampungan waduk dijelaskan seperti tabel 2.1 dan grafik 2.1 dibawah ini

Tabel 2.1 Volume Tampungan Waduk

Elevasi	Luas		Volume (m <sup>3</sup> )	Kumulatif Genangan (m <sup>3</sup> )
	Ha	m <sup>2</sup>		
135.00	4.81	48141.1	0.0	0.00
140.00	19.60	196026.1	568,851.7	568,851.73
145.00	33.40	334011.8	1,309,864.7	1,878,716.41
150.00	45.71	457136.2	1,969,837.1	3,848,553.56
155.00	59.15	591518.5	2,614,431.8	6,462,985.40
160.00	78.33	783270.1	3,425,773.1	9,888,758.46
165.00	109.78	1097779.4	4,680,557.8	14,569,316.26
170.00	135.11	1351063.0	6,111,161.3	20,680,477.54
175.00	168.17	1681687.2	7,566,812.2	28,247,289.76
180.00	201.46	2014551.5	9,228,081.3	37,475,371.05
185.00	241.11	2411129.8	11,049,366.5	48,524,737.56
190.00	282.14	2821396.3	13,067,891.3	61,592,628.88
195.00	329.14	3291437.4	15,267,002.0	76,859,630.89
200.00	375.04	3750440.8	17,592,215.9	94,451,846.84

Sumber: PT. Brantas Abipraya, 2012



Gambar 2.1 Grafik Kurva Tampungan Waduk

Volume tampungan mati : 29.37

Volume tampungan efektif : 38.64

Total tampungan : 68.01

juta m<sup>3</sup>

juta m<sup>3</sup>

juta m<sup>3</sup>

Sumber: PT. Brantas Abipraya, 2012

Tabel 2.2 Data Stasiun Hujan Nawangan

Tahun	Januari			Pebruari			Maret			April			Mei			Juni			Juli			Agustus			September			Oktober			Nopember			Desember				
	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Peb-1	Peb-2	Peb-3	Mar-1	Mar-2	Mar-3	Apr-1	Apr-2	Apr-3	Mei-1	Mei-2	Mei-3	Jun-1	Jun-2	Jun-3	Jul-1	Jul-2	Jul-3	Ag-1	Ag-2	Ag-3	Sep-1	Sep-2	Sep-3	Ok-1	Ok-2	Ok-3	Nov-1	Nov-2	Nov-3	Des-1	Des-2	Des-3		
2007	21	0	43	99	191	78	35	22	114	222	152	182	10	12	41	5	10	37	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	192	48	23	143	208	182	
2008	145	13	112	113	41	85	168	170	195	123	113	55	71	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	36	119	351	59	36	60	36	45	
2009	28	23	133	186	101	150	42	2	127	76	105	92	23	105	92	35	7	0	0	23	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	11	103	96	9	0	192
2010	114	105	194	124	236	53	115	118	160	46	72	133	93	107	55	101	67	22	7	13	15	0	6	130	15	148	85	8	31	89	239	76	106	218	124	107	0	0
2011	180	86	81	132	106	149	49	140	200	107	92	212	114	79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	20	37	38	135	51	123	134	
2012	93	150	41	89	97	204	155	29	146	118	101	23	72	10	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	41	3	0	101	109	60	177	76	
2013	282	85	104	136	99	55	148	90	140	257	90	39	55	38	39	44	156	94	53	34	9	0	0	0	0	3	0	0	15	117	61	184	63	42	283	94	0	
2014	149	260	83	39	41	146	41	117	22	32	21	84	4	33	8	0	151	118	0	32	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	157	101	105	279	245
2015	132	99	140	188	98	7	112	70	197	173	110	72	128	51	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	61	108	141	126	0	
2016	156	110	115	188	63	127	233	98	144	129	131	43	102	129	98	45	156	52	22	68	35	86	21	50	25	123	68	147	4	138	170	231	265	150	39	89	0	
Max	282	260	194	188	236	204	233	170	200	257	152	212	128	129	98	101	156	118	53	68	35	86	21	130	25	148	85	147	41	138	351	231	265	218	283	245	0	0
Rerata	130	93	105	129	107	105	110	86	145	128	99	94	67	57	33	26	55	32	9	15	8	10	3	18	4	27	15	21	13	56	110	106	104	98	140	116	0	
Min	21	0	41	39	41	7	35	2	22	32	21	23	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	23	9	0	0	0	

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2007-2016

## 2.2 Data Jumlah Penduduk

Data jumlah penduduk 14 desa di Kabupaten Pacitan dari tahun 2007 – 2015 seperti pada tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2.3 Data Jumlah Penduduk

Desa	Tahun								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Arjosari	1791	1792	1807	1811	1807	1818	1819	1804	1800
Gayuhan	1610	1622	1704	1706	1714	1733	1753	1758	1743
Tremas	1925	1928	1925	1929	1931	1939	1952	1991	2004
Panggok	1960	1967	1977	1987	2012	2031	2071	2051	2048
Bolosingo	1076	1098	1208	1296	1305	1373	1383	1385	1385
Gunung Sari	2076	2098	2125	2184	2182	2196	2356	2328	2321
Gembong	2079	2207	2295	2313	2332	2331	2336	2369	2340
Jatimalang	2198	2201	2298	2191	2292	2319	2348	2411	2458
Pacitan	3169	3178	3198	3201	3224	3254	3235	3235	3240
Karangrejo	2501	2578	2649	2644	2639	2319	2798	2806	2849
Sedayu	3188	3199	3210	3218	3219	3247	3366	3388	3390
Mlati	2789	2897	2941	2762	2992	3005	3049	3072	3094
Sambung	2849	2857	2865	2876	2912	2938	3159	3170	3240
Pucang sewu	3021	2987	3061	3076	3100	3127	3505	3493	3550

Sumber: Badan Pusat Statistik Pacitan, 2008-2016

## 2.3 Data Klimatologi

### 2.3.1 Temperatur Udara

Temperatur udara pada permukaan evaporasi sangat berpengaruh terhadap evaporasi. Semakin tinggi temperatur semakin besar kemampuan udara untuk menyerap uap air.

(Triatmodjo,2008)

Data temperatur menurut stasiun lanud pacitan dalam satuan °C dari tahun 2014-2016 seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Data Temperatur

Tahun	Bulan											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2014	34.76	35.05	35.03	35.23	35.15	34.78	34.66	34.32	34.32	35.53	35.85	35.45
2015	34.73	34.95	35.08	35.30	34.82	34.47	34.19	34.27	35.05	34.29	33.23	33.00
2016	33.08	33.00	33.00	32.50	32.50	33.00	32.50	32.50	32.50	32.50	32.50	32.50
Jumlah (°C)	102.56	103.00	103.11	103.03	102.47	102.25	101.35	101.10	101.87	102.32	101.58	100.95
Rerata (°C)	34.19	34.33	34.37	34.34	34.16	34.08	33.78	33.70	33.96	34.11	33.86	33.65

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016

### 2.3.2 Penyinaran Matahari

Pada setiap perubahan bentuk zat; dari es menjadi air (mencair), dari zat cair menjadi gas (penguapan), dan dari es langsung menjadi uap air (penyubliman) diperlukan panas laten. Panas laten untuk penguapan berasal dari radiasi matahari dan tanah. Radiasi matahari merupakan sumber utama panas dan mempengaruhi jumlah evaporasi di atas permukaan bumi.

(Triatmodjo,2008)

Data penyinaran matahari menurut stasiun lanud pacitan dalam satuan % (persen) dari tahun 2014-2016 seperti pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Data Penyinaran Matahari

Tahun	Bulan											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2014	40.65	43.64	67.58	54.27	60.74	53.67	44.74	68.06	72.93	69.26	37.80	39.81
2015	53.81	61.04	53.68	41.07	56.23	62.53	63.42	61.77	71.97	66.74	68.37	63.71
2016	47.32	47.03	53.55	57.33	52.84	45.67	51.26	53.84	51.77	54.26	45.97	33.87
Jumlah	141.77	151.71	174.81	152.67	169.81	161.87	159.42	183.68	196.67	190.26	152.13	137.39
Rerata (%)	47.26	50.57	58.27	50.89	56.60	53.96	53.14	61.23	65.56	63.42	50.71	45.80
Rerata	0.47	0.51	0.58	0.51	0.57	0.54	0.53	0.61	0.66	0.63	0.51	0.46

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016

### 2.3.3 Kecepatan Angin

Penguapan yang terjadi menyebabkan udara di atas permukaan evaporasi menjadi lebih lembab, sampai akhirnya udara menjadi jenuh terhadap uap air dan evaporasi berhenti. Agar proses penguapan dapat berjalan terus, lapisan udara yang telah jenuh harus diganti dengan udara kering. Penggantian tersebut dapat terjadi apabila ada angin. Oleh karena itu kecepatan angin sangat penting dalam evaporasi. (Triatmodjo,2008)

Data kecepatan angin menurut stasiun lanud pacitan dalam satuan km/hari dari tahun 2014-2016 seperti pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Data Kecepatan Angin

Tahun	Bulan											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2014	32.60	37.74	33.24	33.92	36.17	35.47	35.51	48.10	62.87	64.34	56.12	29.01
2015	47.13	31.90	28.52	25.90	27.72	36.27	41.79	47.92	63.09	64.05	57.26	35.63
2016	36.88	25.27	25.03	23.70	22.93	12.16	9.75	13.86	16.71	9.91	10.53	19.50
Jumlah	116.61	94.91	86.79	83.52	86.82	83.90	87.06	109.88	142.67	138.31	123.91	84.14
Rerata (km/hari)	38.87	31.64	28.93	27.84	28.94	27.97	29.02	36.63	47.56	46.10	41.30	28.05

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016

### 2.3.4 Kelembaban Udara

Udara lembab merupakan campuran dari udara kering dan uap air. Banyaknya uap air yang terkandung dalam udara dapat dinyatakan dalam beberapa cara yaitu kelembaban mutlak, kelembaban spesifik, dan kelembaban relatif. Dari ketiga cara tersebut, kelembaban relatif yang paling banyak digunakan.

(Triatmodjo,2008)



Data kelembapan udara menurut stasiun lanud pacitan dalam satuan % (persen) dari tahun 2014-2016 seperti pada tabel 2.7.

**Tabel 2.7 Data Kelembaban Relatif**

Tahun	Bulan											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2014	90.81	89.82	92.65	92.87	91.97	92.10	87.03	89.32	89.37	89.74	90.17	90.52
2015	90.97	90.96	91.87	90.13	89.97	84.83	86.16	85.13	88.77	87.26	89.13	89.84
2016	90.19	90.17	91.29	90.50	92.29	91.53	92.29	92.39	87.40	85.29	89.93	90.35
Jumlah	271.97	270.96	275.81	273.50	274.23	268.47	265.48	266.84	265.53	262.29	269.23	270.71
Rerata (%)	90.66	90.32	91.94	91.17	91.41	89.49	88.49	88.95	88.51	87.43	89.74	90.24
Rerata	0.91	0.90	0.92	0.91	0.91	0.89	0.88	0.89	0.89	0.87	0.90	0.90

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016

## 2.4 Data Debit Sungai

Data debit yang dimaksud adalah data pencatatan debit historis baik dengan AWLR maupun manual. Data debit terdekat terletak di stasiun AWLR Gunungsari, yaitu terletak di hilir pertemuan K. Grindulu dan K. Brungkah. AWLR ini mempunyai periode pencatatan dari tahun 2000 - 2005 dengan luas DAS sebesar 249,10 km<sup>2</sup> seperti pada tabel 2.8. Data ini akan digunakan sebagai dasar kalibrasi dalam analisis ketersediaan air. Parameter F.J Mock untuk analisa debit inflow Waduk Tukul adalah diperoleh dari perbandingan data debit AWLR Gunungsari dan debit yang diperoleh dari perhitungan curah hujan Stasiun Nawangan pada tahun 2000- 2005

Tabel 2.8 Data Debit Sungai Kali Grindulu AWLR Gunungsari

TAHUN	B U L A N (mm)											
	JAN	PEB	MAR	APR	MEI	JUN	JUL	AGS	SEP	OKT	NOP	DES
2000	26.14	73.96	38.26	46.44	24.27	7.53	3.68	1.71	0.85	48.55	76.19	13.08
2001	57.23	59.71	38.17	26.44	11.18	18.11	9.92	5.41	3.38	13.56	25.94	12.56
2002	22.26	46.63	49.43	56.47	18.21	9.86	7.72	6.49	5.67	4.55	6.42	24.40
2003	36.89	64.79	53.45	13.50	11.60	3.07	1.57	1.17	0.88	1.59	13.03	50.93
2004	147.52	175.87	168.22	69.38	31.87	22.94	12.74	8.44	7.98	6.19	60.11	243.42
2005	93.50	100.47	101.93	81.04	36.70	41.14	35.71	15.42	2.50	3.80	5.78	22.91

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016

## 2.5 Dasar Teori Perencanaan

### 2.5.1. Analisa Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimum sungai untuk kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi dan pengendalian banjir. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar data debit harian sungai. Agar analisisnya cukup akurat, catatan data yang diperlukan minimal 20 tahun. Jika persyaratan ini tidak bisa dipenuhi, maka metode hidrologi analitis dan empiris bisa dipakai. Dalam menghitung debit andalan, harus dipertimbangkan air yang diperlukan dari sungai di hilir pengambilan (Direktorat Jendral Pengairan, 1986).

Dalam menentukan debit andalan dengan peluang 80% digunakan probabilitas metode Weibull, dengan rumus :

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$$

Dengan:

P = peluang (%)  
 m = no urut data  
 n = jumlah data

Dari data debit inflow yang diperoleh pada studi ini, maka diketahui pengisian bendungan

berlangsung tiap bulannya setiap tahun. Data ini nantinya akan dipakai dalam perhitungan debit yang masuk ke waduk ( Debit Inflow ).

### 2.5.2. Curah Hujan Rata - rata

Metode curah hujan rata – rata hitungan dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama satu periode tertentu dan membaginya dengan banyaknya tempat pengukuran. Jika dirumuskan dalam suatu persamaan adalah sebagai berikut :

$$\overline{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

Dengan :

$\overline{R}$  = Curah Hujan rata-rata (mm)

$R_1, \dots, R_n$  = Besarnya curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)

$n$  = Banyaknya stasiun hujan

(Sumber: Harto, 1993)

### 2.5.3. Curah Hujan Andalan

Curah hujan Andalan adalah curah hujan yang jatuh selama masa tumbuh tanaman, yang dapat digunakan untuk memenuhi air konsumtif tanaman. Besarnya curah hujan ditentukan dengan 80% dari curah hujan rata – rata tengah bulanan dengan kemungkinan kegagalan 20% (curah hujan  $R_{80}$ ). Dengan menggunakan *Metode California* dengan rumus:

$$P = \frac{m}{n} \times 100\%$$

$P$  = Peluang terjadi %

$n$  = Jumlah data pengamatan

$m$  = No urut kejadian

#### 2.5.4. Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif diperoleh dari 70% x  $R_{80}$  per periode waktu pengamatan. Apabila data hujan yang digunakan 10 harian maka persamaannya menjadi:

$$R_{e \text{ padi}} = \frac{(R_{80} \times 70 \%) }{10} \text{ mm/hari}$$

$$R_{e \text{ tebu}} = \frac{(R_{80} \times 60 \%) }{10} \text{ mm/hari}$$

$$R_{e \text{ polowijo}} = \frac{(R_{80} \times 50 \%) }{10} \text{ mm/hari}$$

Curah hujan efektif juga dapat dihitung dengan menggunakan metode log pearson III berdasarkan data hujan yang tersedia.

#### 2.5.5. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah peristiwa evaporasi dan transpirasi yang terjadi secara bersamaan. Evaporasi merupakan pergerakan air ke udara dari berbagai sumber seperti tanah, atap dan badan air. Sedangkan transpirasi ialah pergerakan air di dalam tumbuhan yang hilang melalui stomata akibat diuapkan oleh daun. Di dalam perhitungan dikenal ada dua istilah evapotranspirasi yaitu :

- Evapotranspirasi potensial, terjadi apabila tersedia cukup air untuk memenuhi pertumbuhan optimum.
- Evapotranspirasi aktual, terjadi dengan kondisi pemberian air seadanya untuk memenuhi pertumbuhan.

( Wiyono: 2000 )

Namun yang digunakan untuk optimasi pemanfaatan air ini adalah evapotranspirasi potensial yang dapat dihitung dengan metode Penman modifikasi sebagai berikut:

$$ET_o = c \{W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (ea - ed)\}$$

Dengan :

C = faktor pergantian kondisi cuaca akibat siang dan malam

W = faktor berat yang mempengaruhi penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial. ( mengacu pada tabel penman hubungan antara temperature dengan ketinggian )

(1 - W) = factor berat sebagai pengaruh angin dan kelembaban pada  $ET_o$

(ea - ed) = perbedaan tekanan uap air jenuh dengan tekanan uap air nyata

Ed = ea x RH

$R_n$  = Radiasi penyinaran matahari dalam perbandingan penguapan atau radiasi matahari bersih (mm/hr)

$R_n$  =  $R_{ns} - R_{n1}$

$R_{ns}$  =  $R_s (1 - \alpha)$   
(  $\alpha$  = Koefisien pemantulan = 0.25 )

$R_s$  =  $(0.25 + 0.5 (n/N)) R_a$

$R_{n1}$  =  $2.01 \times 10^9 \cdot T_4(0.34 - 0.44 ed^{0.5}) (0.1 + 0.9 n/N)$

f(u) = Fungsi pengaruh angina pada  $ET_o$   
=  $0.27 \times (1 + U_2/100)$

Dimana u merupakan kecepatan angin rata-rata di siang hari dalam m/dt di ketinggian 2 m.

### 2.5.6. Kebutuhan Air di Sawah ( NFR )

$$NFR = Et_0 + P + WLR - Re$$

Dengan :

NFR = kebutuhan air untuk tanaman (mm/hari)

$Et_0$  = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)

WLR = pergantian lapisan air (mm/hari)

Re = curah hujan efektif (mm/hari)  
 P = Perkolasi (mm/hari)

### 2.5.7. Kebutuhan Air Untuk Padi

$$IR = \frac{NFR}{C}$$

Dengan :

C = Efisiensi irigasi secara keseluruhan

### 2.5.8. Kebutuhan Air Untuk Palawija

$$IR = \frac{ETc - Re}{C}$$

### 2.5.9. Penyiapan Lahan

Kebutuhan air irigasi selama jangka waktu penyiapan lahan dihitung dengan rumus :

$$IR = \frac{M \cdot e^k}{e^k - 1}$$

Dengan :

Eo = Evaporasi potensial (mm/hari) = ETo x 1,10

P = Perkolasi (mm/hari) yang tergantung dari tekstur tanah

M = Kebutuhan evaporasi dan perkolasi = Eo + P

T = Waktu Penyiapan Tanah (hari)

S = Kebutuhan air untuk penjemuran ditambah 50 mm jadi 250 + 50 = 300 mm

k =  $\frac{M \times T}{S}$

IR = kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan (mm/hari)

Tabel 2.9 Kebutuhan Air untuk penyiapan lahan

Eo + P (mm/ha)	T = 30 ha		T = 45 ha	
	s = 250 mm	s = 300 mm	s = 250 mm	s = 300 mm
3.0	9.7	11.3		
3.5	10.0	11.7		
4.0	10.3	12.00		
4.5	10.7	12.3		
5.0	11.1	12.7	8.4	9.5
5.5	11.4	13.0	8.8	9.8
6.0	11.7	13.3	9.1	10.1
6.5	12.0	13.6	9.4	10.4
7	12.3	13.9	9.8	10.8
7.5	12.6	14.2	10.1	11.1
8.0	13.0	14.5	10.5	11.4
8.5	13.3	14.8	10.8	11.8
9.0	13.6	15.2	11.2	12.1
9.5	14.0	15.5	11.6	12.5
10	14.3	15.8	12.0	12.9
10.5	14.7	16.2	12.4	13.2
11.0	15.0	16.5	12.8	13.6

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Catatan : Setelah 1 – 2 bulan dari transplantasi dilakukan pergantian lapisan air sebanyak 50 mm selama 20 hari (2,5 mm/hari sebulan)

### 2.5.10. Luas Areal Irigasi

Luasan daerah irigasi ditentukan sesuai debit yang mengalir pada jaringan irigasi. Semakin besar debit semakin besar pula luas lahan yang diairi. Namun pada jaringan tersier dibatasi maksimal 150 ha.

### 2.5.11. Kebutuhan Air Untuk Konsumtif Tanaman

Penggunaan konsumtif air oleh tanaman diperkirakan oleh pendekatan empiris dengan

menggunakan data iklim, koefisien tanaman pada tahap pertumbuhan sebagai berikut:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Dengan :

$K_c$  = Koefisien tanaman

$ET_o$  = Evapotranspirasi potensial (mm/hr)  
( Pruitt, W.O, dan Doorenbos, J. 1997 )

### 2.5.12. Perencanaan Pola Tanam

Perencanaan pola tanam bagi daerah irigasi berguna untuk menyusun suatu pola pemanfaatan air irigasi yang tersedia untuk memperoleh hasil produksi tanam yang besar di sector pertanian. Susunan rencana penanaman berbagai jenis tanaman selama satu tahun yang umumnya padi, tebu dan polowijo. Umumnya pola tanaman mengikuti debit andalan yang tersedia untuk mendapatkan luas yang seluas-luasnya.

### 2.5.13. Perkolasi

Istilah perkolasi kurang mempunyai arti penting pada kondisi alam, tetapi dalam kondisi buatan, perkolasi mempunyai arti penting dimana karena alasan teknis dibutuhkan proses infiltrasi yang terus menerus. Besarnya perkolasi dinyatakan dalam mm/hari.

Tabel 2.10 Tingkat Perkolasi

Jenis Tanah	Angka Perkolasi	
	Padi (mm/hari)	Palawija (mm/hari)
Tekstur Berat	1	2
Tekstur Sedang	2	4
Tekstur Ringan	5	10



#### 2.5.14. Efisiensi Irigasi

Efisiensi merupakan persentase perbandingan antara jumlah air yang dapat digunakan untuk pertumbuhan tanaman dengan jumlah air yang dikeluarkan dari intake (pintu pengambilan). Biasanya efisiensi irigasi dipengaruhi oleh besarnya jumlah air yang hilang diperjalannya dari saluran primer, sekunder dan tersier.

- Saluran Primer : 90%
- Saluran Sekunder : 90%
- Saluran Tersier : 80%

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi Irigasi Total (C)} \\ &= 90\% \times 90\% \times 80\% \\ &= 65\%\end{aligned}$$

#### 2.5.15. Kebutuhan Air di Intake

Kebutuhan air di intake merupakan jumlah kebutuhan air di sawah dibagi dengan efisiensi irigasinya.

$$DR = NFR/EI$$

Dengan:

$$\begin{aligned}DR &= \text{Kebutuhan air di Intake ( mm/hr/ha )} \\ NFR &= \text{Kebutuhan air di sawah ( mm/hari )}\end{aligned}$$

#### 2.5.16. Koefisien Tanaman

Besarnya nilai suatu koefisien tanaman tergantung dari umur dan jenis tanaman yang ada. Koefisien tanaman juga merupakan factor yang dapat digunakan untuk mencari besarnya air yang habis terpakai untuk tanaman pada masa pertumbuhannya.

Tabel 2.11 Harga Koefisien Tanaman

Bulan	Padi		Kedelai	Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul		Kacang Tanah	Jagung
0.5	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50
1.0	1.10	1.10	0.75	0.51	0.95
1.5	1.10	1.05	1.00	0.66	0.96
2.0	1.10	1.05	1.00	0.85	1.05
2.5	1.10	0.95	0.82	0.95	1.02
3.0	1.05	0.00	0.45*	0.95	0.95*
3.5	0.95			0.95	
4.0	0.00			0.55	
4.5				0.55*	

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

**Catatan :**

- \* = untuk sisanya kurang dari ½ bulan
- Umur Kedelai = 85 hari
- Umur kacang tanah = 130 hari
- Umur Jagung = 80 hari

**2.5.17. Perhitungan Pertumbuhan Penduduk**

Perhitungan Penduduk mempunyai beberapa metode perhitungan yaitu sebagai berikut

a. Metode Aritmatika

$$I = \frac{Pt - Po}{t} \quad Pn = Pt + I(n)$$

Dengan:

Pn =Jumlah penduduk pada tahun ke n

Po =Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke I

Pt =Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir

- $t$  =Jumlah tahun yang diketahui  
 $n$  =Jumlah Interval  
 $I$  =Konstanta Aritmatik

b. Metode Geometrik

$$r = \left( \frac{a - P_0}{n \cdot a} \right) \times 100 \%$$

$$P_n = P (1 + r)^n$$

Dengan:

- $P_n$  =Jumlah penduduk pada tahun ke  $n$   
 $P_0$  =Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke  $I$   
 $r$  =Laju pertumbuhan penduduk  
 $n$  =Jumlah Interval

c. Metode selisih kuadrat minimum (*least square*)

Metode ini digunakan untuk garis regresi linier yang berarti bahwa data perkembangan penduduk masa lalu menggambarkan kecenderungan garis linier, meskipun perkembangan penduduk tidak selalu bertambah.

Rumus yang digunakan :

$$P_n = a + [b \times n]$$

Keterangan:

$P_n$  = Jumlah penduduk pada tahun proyeksi (jiwa)

$a, b$  = koefisien *Least Square*

$$a = \frac{\sum Y \times \sum X^2 - \sum X \times (\sum XY)}{n \times \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{n \times (\sum X \times Y) - (\sum X \times Y)}{n \times \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Untuk memilih salah satu cara perhitungan menggunakan metode korelasi.

### 2.5.18. Standart Kebutuhan Air Baku

Dilihat dari pengertiannya air baku adalah air yang diperlukan oleh manusia setiap harinya. Data yang mempengaruhi neraca air baku ialah :

- Hubungan debit andalan 20% terkering dengan jumlah penduduk yang dapat dilayani
- Kebutuhan air baku untuk penduduk/liter/hari
- Kebutuhan air baku untuk penduduk dan atau hewan

Menurut Direktorat Jenderal Cipta Karya 2007 standar kebutuhan air ada 2 macam, antara lain:

- Standart kebutuhan air domestik

Standart kebutuhan air domestik yaitu kebutuhan air yang digunakan pada tempat hunian pribadi untuk memenuhi keperluan sehari – hari.

Tabel 2.12 Penentuan Tingkat Layanan Air Baku

Jumlah Penduduk (jiwa)	Tingkat Pelayanan (liter/orang/hari)
> 1.000.000	120
500.000 - 1.000.000	100
100.000 - 500.000	90
20.000 - 100.000	80
10.000 - 20.000	60
< 10.000	30

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2007

- Standar kebutuhan air non domestik

Standar kebutuhan air non domestik adalah kebutuhan air bersih diluar kebutuhan rumah tangga. Kebutuhan air non domestik untuk kota dapat dibagi dalam berbagai kategori, antara lain:

- ✚ Kota kategori I ( Metro )
- ✚ Kota kategori II ( Kota Besar )
- ✚ Kota kategori III ( Kota Sedang )
- ✚ Kota kategori IV ( Kota Kecil )
- ✚ Kota Kategori V ( Desa )

Tabel 2.13 Kategori Kebutuhan Air non Domestik

No	Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Jiwa				
		500.000	100.000	20.000		
		> 1.000.000	s/d	s/d	s/d	< 20.000
		1.000.000	500.000	100.000		
		Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
1	Konsumsi unit sambungan rumah (SR) I/o/h	190	170	130	100	80
2	Konsumsi unit hidran umum (HU) I/o/h	30	30	30	30	30
3	Konsumsi unit non domestik I/o/h (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
4	Kehilangan air (%)	20-30	20-30	20-30	20-30	20-30
5	Faktor hari maksimum	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
6	Faktor jam puncak	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
7	Jumlah jiwa per SR	5	5	5	5	5
8	Jumlah jiwa per HU	100	100	100	100	100
9	Sisa tekan di penyediaan distribusi (mka)	10	10	10	10	10
10	Jam operasi	24	24	24	24	24
11	Volume reservoir (% max day demant)	20	20	20	20	20
12	SR : HR	50:50 s/d 80:20	50:50 s/d 80:20	80:20	70:30	70:30
13	Cakupan pelayanan (%)	*) 90	90	90	90	**) 70

Sumber: Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2007

\*) 60% perpipaan , 30% non perpipaan

\*\*) 25% perpipaan , 45% non perpipaan

### 2.5.19. Kebutuhan Air Pembangkit Listrik Microhidro

Pengoperasian PLTM meliputi kesetimbangan air dan perhitungan daya yang dihasilkan oleh PLTM tersebut. Perhitungan daya yang dihasilkan PLTM digunakan rumus sebagai berikut:

$$P = e \times Q \times H \times g \text{ (kW)}$$

Dengan :

- P = Daya yang dihasilkan ( kW )
- Q = Debit yang masuk ( m<sup>3</sup>/detik )
- H = Tinggi air jatuh efektif ( meter )
- e = Efisiensi ( 0,9 – 0,95 )
- g = Percepatan grafitasi bumi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

## 2.6 Optimasi dengan Program Linier Microsoft Excel Add-ins Solver

Optimasi linier merupakan suatu model matematis yang mempunyai dua fungsi utama, yaitu fungsi tujuan dan fungsi kendala atau pembatas. Optimasi linier bertujuan untuk mencapai nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi tujuan. Solver adalah program tambahan Microsoft Excel yang digunakan untuk analisa nilai agar mencapai hasil yang optimum(maksimum atau minimum) dan dituangkan menjadi suatu rumus didalam suatu sel yang disebut sel tujuan, tetapi memiliki batasan pada nilai dari sel rumusan lain pada lembar kerja.

Solver bekerja dengan group sel, yang disebut variabel keputusan atau sel variabel sederhana yang digunakan dalam perhitungan rumus di dalam sel tujuan atau batasan. Solver juga menyesuaikan nilai di dalam sel variabel keputusan untuk memenuhi batas pada sel batasan dan memberikan hasil yang diinginkan untuk sel tujuan.

Adapun model matematika optimasi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### a. Optimasi ditinjau dari Intensitas Tanam

Maksimumkan nilai:

$$OF = \Sigma Luas\ tan.\ padi + \Sigma Luas\ tan.\ palawija$$

Dimana OF adalah nilai yaitu maksimum intensitas tanam (Ha).

$X1_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 1 (Ha)

$X2_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 2 (Ha)

$X3_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 3 (Ha)

$X4_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 4 (Ha)

$X5_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 5 (Ha)

$X6_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 6 (Ha)

$X7_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 7 (Ha)

$X8_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 8 (Ha)

$X9_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 9 (Ha)

$X10_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 10 (Ha)

$X11_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 11 (Ha)

$X12_{padi}$  = luasan tanaman padi pada awal tanam bulan 12 (Ha)

P1 = luasan tanaman palawija pada awal tanam bulan 1 (Ha)

P2 = luasan tanaman palawija pada awal tanam bulan 2 (Ha)

P3 = luasan tanaman palawija pada awal tanam bulan 3 (Ha)



$$X1_{\text{padi}}, X2_{\text{padi}}, X3_{\text{padi}}, X4_{\text{padi}}, X5_{\text{padi}}, X6_{\text{padi}}, \\ X7_{\text{padi}}, X8_{\text{padi}}, X9_{\text{padi}}, X10_{\text{padi}}, X11_{\text{padi}}, X12_{\text{padi}} \\ P1, P2, P3 \geq 0$$

### **Fungsi Kendala**

Luasan Maksimum

$$X_{\text{padi}} + P \leq \text{Luasan Total}$$

### **Volume Andalan**

$$V_{\text{padi}} \cdot X_{\text{padi}} + V_{\text{pal}} \cdot X_{\text{pal}} \leq V_{i1}$$

$$V_{i1} = \text{volume andalan pada bulan 1}$$

### **Tanaman Palawija**

$$P1 \geq P_t$$

$P_t$  = Luas tanaman palawija yang  
diisyaratkan



## **BAB III**

### **METODOLOGI DAN ALUR PERENCANAAN**

#### **3.1. Survey Pendahuluan dan Studi Literatur**

Dilakukan untuk mengenal dan mengidentifikasi dari seluruh permasalahan yang ada di lapangan sehingga dapat mengambil langkah – langkah selanjutnya yang akan diambil guna mencari solusi akan permasalahan yang terjadi. Selain itu, survey ini juga untuk mendapat dokumentasi yang nantinya dapat dilampirkan pada bagian akhir dari tugas akhir ini. Kemudian dilakukan pengumpulan data yang akan dibahas dibawah ini.

#### **3.2. Pengumpulan Data**

Setelah mengidentifikasi dari permasalahan yang ada di lapangan maka langkah selanjutnya adalah mencari data pendukung untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Data yang digunakan dalam penulisan ini ialah data sekunder yang mana merupakan data secara tidak langsung berupa catatan maupun hasil penelitian dari pihak lain.

Adapun data sekunder tersebut meliputi :

- Skema daerah irigasi untuk mengetahui sejauh mana daerah yang menjadi tujuan suplei air irigasi dan luasannya
- Data curah hujan yang digunakan untuk mengetahui curah hujan efektif
- Data debit inflow waduk untuk menghitung volume / debit andalan
- Data klimatologi yang nantinya akan diolah untuk mendapat besarnya evapotranspirasi
- Data pola tanam
- Data PLTM yang dapat digunakan untuk simulasi pengoperasian PLTM

Setelah memperoleh data dapat dilakukan proses perhitungan atau analisis data yang akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

### **3.3. Analisis Data / Proses Perhitungan**

- Analisa Potensi Waduk yang akan membahas perhitungan curah hujan efektif dan volume / debit andalan
- Analisa klimatologi yang akan membahas perhitungan evapotranspirasi yang terjadi
- Perencanaan pola tanam sebagai alternative yang akan diambil guna mencapai suatu kondisi yang optimal
- Analisa kebutuhan air dari tiap – tiap alternative pola tanam yang disajikan
- Menentukan pola operasi PLTM yang paling sesuai berdasarkan ketersediaan air musim kemarau
- Analisa kebutuhan air baku untuk masyarakat yang akan digunakan setiap harinya.

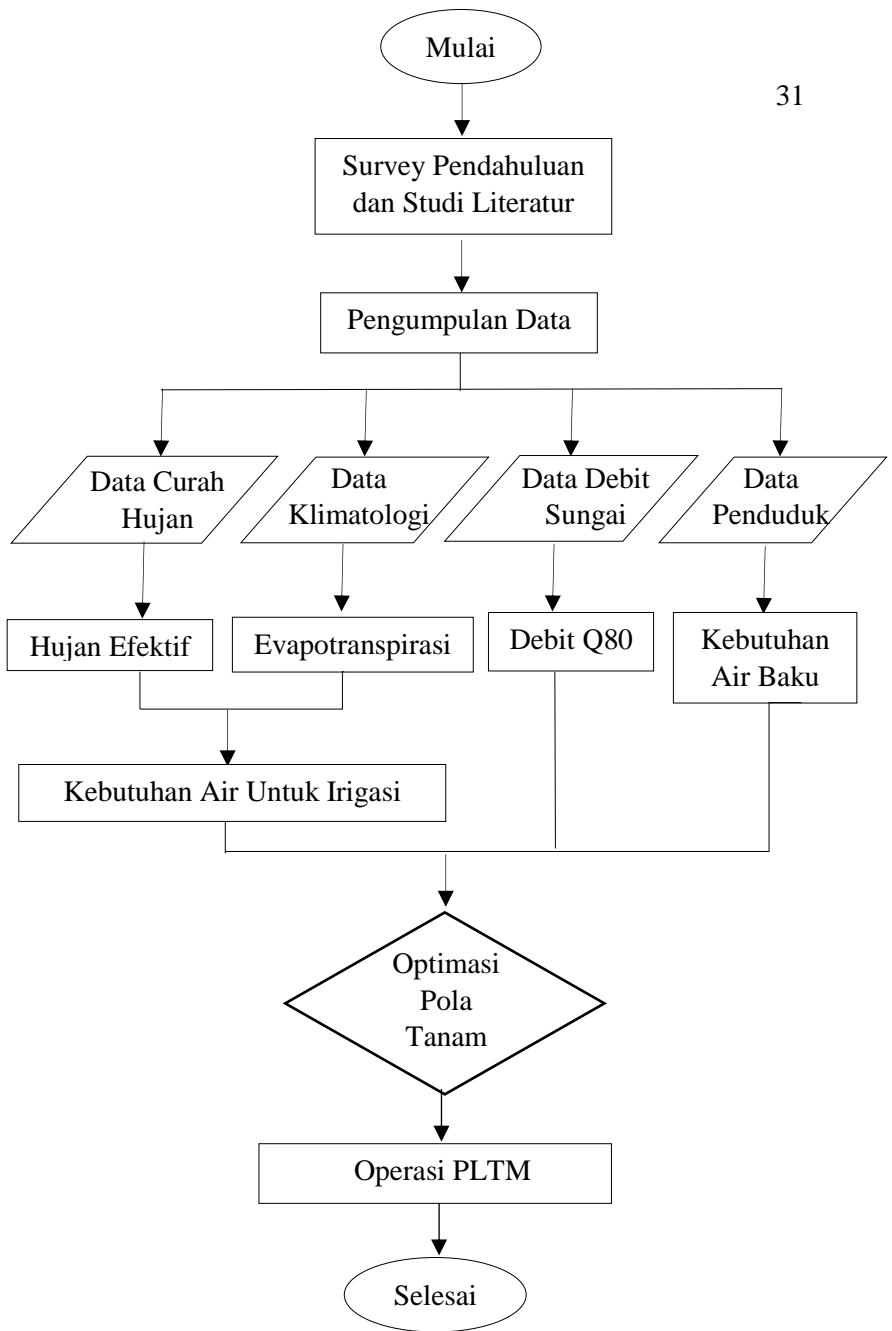
Ketika semua input sudah diketahui dapat dilanjutkan pada program optimasi.

### **3.4. Analisa Hasil Optimasi**

Tahapan ini diambil untuk mendapatkan hasil yang paling optimum dari Model dari Analisa program linier. Setelah itu diambil kesimpulan dan saran dari analisa hasil optimasi.

### **3.5. Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan dan Saran merupakan hasil dari analisa dan jawaban akan permasalahan yang ada.



Gambar 3.1 Bagan alur pengerjaan tugas akhir



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis Kebutuhan Air Irigasi**

##### **4.1.1 Evapotranspirasi Potensial**

Data klimatologi diperoleh dari Dinas PU Pengairan Pacitan yang tercatat di stasiun klimatologi Lanud Pacitan rerata dari tahun 2014-2016 dapat dilihat pada tabel 4.2. Perhitungan klimatologi ini meliputi temperatur, kelembapan relatif, kecepatan angin dan penyinaran matahari yang berguna untuk menghitung evapotranspirasi. Karakteristik data klimatologi sebagai berikut :

- a) Temperatur udara terendah pada bulan Desember sebesar 33,65 °C dan tertinggi pada bulan Maret sebesar 34,37 °C.
- b) Kelembapan udara relatif terendah pada bulan Oktober sebesar 87,43 % dan tertinggi pada bulan Maret sebesar 91,94 %.
- c) Lama penyinaran matahari terendah terjadi pada bulan Desember sebesar 45,80 % dan tertinggi pada bulan September sebesar 65,56 %.
- d) Kecepatan angin terendah pada bulan April sebesar 27,84 km/hari dan tertinggi pada bulan September sebesar 47,56 km/hari.

Dalam analisa evapotranspirasi menggunakan metode Penman modifikasi. Hasil perhitungan evapotranspirasi dapat dilihat pada tabel 4.3.

Berikut ini contoh perhitungan evapotranspirasi pada bulan Juli :

1. Data klimatologi pada bulan Juli
  - a. Suhu (T) : 33,78 °C
  - b. Kelembapan relatif (RH) : 88,49 %
  - c. Lama penyinaran matahari (n/N) : 53,14 %
  - d. Kecepatan angin (U) : 29,02 km/hari

2. Contoh perhitungan pada bulan Juli
  - a. Mencari harga tekanan uap jenuh,  $e_a$  (mbar)  
 Diketahui  $T = 33,78\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 Maka  $e_a = 52,56$  mbar (lampiran)
  - b. Mencari harga tekanan uap nyata,  $e_d$  (mbar)  
 $e_d = e_a \times RH = 52,56 \times 88,49\% = 46,51$  mbar
  - c. Mencari harga perbedaan tekanan uap air,  $e_a - e_d$  (mbar)  
 $e_a - e_d = 52,56 - 46,51 = 6,05$  mbar
  - d. Mencari harga fungsi angin,  $f(U)$  (km/hari)  
 Diketahui  $U = 29,02$  km/hari  
 Dengan rumus  $f(U) = 0,27 \times (1 + U/100) = 0,35$  km/hari
  - e. Mencari harga faktor pembobot,  $W$   
 Diketahui  $T = 33,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Maka  $W = 0,82$  (lampiran)
  - f. Mencari  $(1 - W)$   
 $(1 - W) = (1 - 0,82) = 0,18$
  - g. Mencari harga radiasi extra terrestrial,  $R_a$  (mm/hari)  
 Lokasi waduk berada di  $08^{\circ} 07' 30''$  LS  
 Maka  $R_a = 12,90$  mm/hari (lampiran)
  - h. Mencari harga radiasi gelombang pendek,  $R_n$  (mm/hari)  
 $R_s = (0,25 + 0,5(n/N)) \times R_a$   
 $R_s = (0,25 + 0,5(0,531)) \times 12,90 = 6,65$  mm/hari
  - i. Mencari harga radiasi netto gelombang pendek,  $R_{ns}$  (mm/hari)  
 $R_{ns} = R_s (1 - \alpha) ; \alpha = 0,75$  (koefisien pamantulan)  
 $R_{ns} = 6,65 (1 - 0,75) = 1,66$  mm/hari
  - j. Mencari harga koreksi akibat suhu,  $f(T)$   
 Diketahui  $T = 33,78\text{ }^{\circ}\text{C}$   
 Maka  $f(T) = 17,65$  (lampiran)



- k. Mencari harga koreksi akibat tekanan uap nyata,  $f(ed)$   
 Diketahui  $ed = 46,51$  mbar  
 Dengan rumus  $f(ed) = 0,34 - 0,044\sqrt{ed} = 0,04$  (lampiran)
- l. Mencari harga fungsi penyinaran,  $f(n/N)$   
 Diketahui  $n/N = 53,14\%$   
 Dengan rumus  $f(n/N) = (0,1 + 0,9 \times (n/N)) = 0,58$  (lampiran)
- m. Mencari harga radiasi netto gelombang panjang,  $Rn1$  (mm/hari)  
 $Rn1 = f(T) \times f(ed) \times f(n/N)$   
 $Rn1 = 17,65 \times 0,04 \times 0,58 = 0,41$
- n. Mencari harga faktor koreksi,  $c$   
 $c = 0,90$  (Tabel 4.1)
- o. Evapotranspirasi potensial,  $ETo$  (mm/hari)  
 $ETo = c \{ W \times Rs + (1-W) \times f(U) \times (ea-ed) \}$   
 $ETo = 0,90 \{ 0,82 \times 6,65 + (0,18) \times 0,35 \times 6,05 \}$   
 $ETo = 4,88$  mm/hari

Tabel 4.1 Nilai Koreksi Bulanan (c) untuk rumus Penmann Modifikasi

Bulan	c	Bulan	c
Januari	1.1	Juli	0.9
Februari	1.1	Agustus	1
Maret	1	September	1.1
April	0.9	Oktober	1.1
Mei	0.9	November	1.1
Juni	0.9	Desember	1.1

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Tabel 4.2 Data Klimatologi Pacitan rerata Tahun 2014-2016

No	Uraian	Lambang	Satuan	Bulan											
				Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	Temperatur	t	°C	34.19	34.33	34.37	34.34	34.16	34.08	33.78	33.70	33.96	34.11	33.86	33.65
2	Kelambapan Relatif	RH	%	0.91	0.90	0.92	0.91	0.91	0.89	0.88	0.89	0.89	0.87	0.90	0.90
3	Kecepatan Angin	U	km/hari	38.87	31.64	28.93	27.84	28.94	27.97	29.02	36.63	47.56	46.10	41.30	28.05
4	Penyinaran Matahari	n/N	%	0.487	0.51	0.58	0.51	0.57	0.54	0.53	0.61	0.66	0.63	0.51	0.46

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016

Tabel 4.3 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

NO	URAIAN	LAMBANG	SATUAN	PERHITUNGAN	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	Temperatur	t		Data	34.19	34.33	34.37	34.34	34.16	34.08	33.78	33.70	33.96	34.11	33.86	33.65
2	Kelambapan Relatif	RH	%	Data	0.91	0.90	0.92	0.91	0.91	0.89	0.88	0.89	0.89	0.87	0.90	0.90
3	Kecepatan Angin	U	km/hari	Data	38.87	31.64	28.93	27.84	28.94	27.97	29.02	36.63	47.56	46.10	41.30	28.05
4	Penyinaran Matahari	n/N	%	Data	0.47	0.51	0.58	0.51	0.57	0.54	0.53	0.61	0.66	0.63	0.51	0.46
5	Tekanan Uap Jenuh	ea	mbar	Tabel (lampiran)	53.77	54.19	54.31	54.22	53.68	53.44	52.56	52.33	53.08	53.53	52.79	52.19
6	Tekanan Uap Nyata	ed	mbar	ea.RH	48.75	48.94	49.93	49.43	49.07	47.82	46.51	46.55	46.99	46.80	47.38	47.09
7	Fungsi Angin	f(U)		$0.27(1+(U/100))$	0.37	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.37	0.40	0.39	0.38	0.35
8	W			Tabel (lampiran)	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.82
9	Faktor Pembobotan	(1-W)		Tabel (lampiran)	0.18	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
10	Radiasi Ekstra Terestrial	Ra	mm/hari	Tabel (lampiran)	15.95	16.05	15.55	14.55	13.25	12.60	12.90	13.85	14.95	15.75	15.90	15.85
11	Radiasi Gelombang Pendek	Rs	mm/hari	$Ra(0.25+(0.5(n/N)))$	7.76	8.07	8.42	7.34	7.06	6.55	6.65	7.70	8.64	8.93	8.01	7.59
12	Radiasi Netto Gelombang Pendek	Rns	mm/hari	$Rs(1-0.75)$	1.94	2.02	2.10	1.83	1.77	1.64	1.66	1.93	2.16	2.23	2.00	1.90
13	Fungsi Tekanan Uap Nyata	f(ed)		$0.34 - 0.044(ed)^{0.5}$	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
14	Fungsi Penyinaran Matahari	f(n/N)		Tabel (lampiran)	0.53	0.56	0.62	0.56	0.61	0.59	0.58	0.65	0.69	0.67	0.56	0.52
15	Fungsi Suhu	f(t)		Tabel (lampiran)	17.74	17.77	17.77	17.73	17.73	17.72	17.65	17.63	17.69	17.72	17.67	17.61
16	Radiasi Netto Gelombang Panjang	Rnl	mm/hari	$f(t).f(n/N).f(ed)$	0.31	0.32	0.32	0.30	0.34	0.37	0.41	0.46	0.47	0.46	0.36	0.35
17	Radiasi Netto	Rn	mm/hari	Rns-Rnl	1.63	1.70	1.78	1.53	1.42	1.27	1.26	1.47	1.69	1.77	1.64	1.55
18	Faktor Koreksi	c			1.10	1.10	1.00	0.90	0.90	0.90	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
19	Evapotranspirasi Potensial	Eto	mm/hari	$c(W.Rn + (1-W).f(t)).(es-ea)$	1.85	1.91	1.74	1.40	1.31	1.25	1.27	1.59	2.01	2.12	1.89	1.75

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.1.2 Hujan Andalan

Stasiun hujan : Nawangan, Kab. Pacitan.

Data hujan yang disajikan sebagai analisa 10 tahun terakhir (2007-2016).

$$P = \frac{m}{n} \times 100\%$$

Dengan :

P = peluang (%)

m = no urut data

n = jumlah data

Peluang yang dibutuhkan dalam hujan andalan adalah 80%. Maka,

$$P = \frac{m}{n} \times 100\%$$

$$80\% = \frac{m}{10} \times 100\%$$

$$m = 8$$

Sehingga hujan andalan terletak pada no urut 8 seperti pada tabel 4.4.

#### Curah Hujan Andalan

Stasiun hujan : Nawangan, kab. Pacitan

EL : +668 mdpl

Tabel 4.4 Hujan Andalan

No	mrx(00%)	Jan-1	Jan-2	Jan-3	Peb-1	Peb-2	Peb-3	Mar-1	Mar-2	Mar-3	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Mei-3	Jun-1	Jun-2	Jun-3	Jul-1	Jul-2	Jul-3	Agus-1	Agus-2	Agus-3	Sep-1	Sep-2	Sep-3	Ok-1	Ok-2	Ok-3	Nov-1	Nov-2	Nov-3	Des-1	Des-2	Des-3								
1	10	282	260	194	188	256	204	233	170	200	257	152	212	128	129	98	101	156	118	53	68	35	86	21	130	25	148	85	147	41	138	351	231	265	218	283	245							
2	20	180	150	140	188	191	150	168	140	197	222	131	182	114	107	92	45	156	94	22	34	23	10	6	50	15	123	68	36	36	119	239	184	135	150	279	192							
3	30	156	110	133	186	106	149	155	118	195	173	113	133	102	105	55	44	151	52	7	32	15	0	3	0	0	3	0	18	31	117	192	157	109	143	208	182							
4	40	149	105	115	136	101	146	148	117	160	129	110	92	93	79	41	35	67	37	4	13	9	0	0	0	0	0	0	8	15	89	170	103	108	141	177	134							
5	50	145	99	112	132	99	127	115	98	146	123	105	84	72	51	39	17	10	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	42	61	101	106	105	126	107					
6	60	132	86	104	124	98	85	112	90	144	118	101	72	71	38	8	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	28	37	76	101	60	124	94				
7	70	114	85	83	113	97	78	49	70	140	107	92	55	55	33	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	35	61	96	60	123	89				
8	80	93	23	81	99	63	55	42	29	127	76	90	43	23	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11	59	63	51	39	76					
9	90	28	13	43	89	41	53	41	22	114	46	72	39	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	48	36	42	36	45					
10	100	21	0	41	39	41	7	35	2	22	32	21	23	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	23	9	0	0					
Max		282	260	194	188	256	204	233	170	200	257	152	212	128	129	98	101	156	118	53	68	35	86	21	130	25	148	85	147	41	138	351	231	265	218	283	245							
Rerata		130	93.1	104.6	120.4	107.3	105.4	109.8	85.6	144.5	128.3	98.7	93.5	67.2	57	33.3	25.8	54.7	32.3	8.6	14.7	8.2	9.6	3	18	4	27.4	15.3	20.9	13	55.6	110	108.8	104.2	97.9	139.5	116.4							
Min		21	0	41	39	41	7	35	2	22	32	21	23	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	23	9	0	0	0	0			
Re80		93	23	81	99	63	55	42	29	127	76	90	43	23	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11	59	63	51	39	76							

Sumber: Hasil Perhitungan

### 4.1.3 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif merupakan curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dan dapat digunakan tanaman untuk pertumbuhannya. Curah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk memenuhi kehilangan air akibat evapotranspirasi tanaman, perkolasi dan lain-lain. Jumlah hujan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman bergantung pada jenis tanaman.

$$\text{Re padi} = R_{80} \times 70\%$$

$$\text{Re palawija} = R_{80} \times 50\%$$

Analisa curah hujan efektif ini bermaksud untuk menghitung kebutuhan air irigasi. Curah hujan efektif bulanan diambil 80% dari curah hujan minimum dengan periode ulang tertentu dengan kemungkinan gagal 20% (curah hujan  $R_{80}$ ). Untuk lebih jelasnya perhitungannya akan disajikan berdasarkan tabel 4.5.

Tabel 4.5 Re Padi dan Re Palawija

Bulan	Periode	R80	Re Padi (mm/10hari)	Re Palawija (mm/10 hari)	Re Padi (mm/hari)	Re Palawija (mm/hari)
			0,7 x R80	0,5 x R80		
Januari	I	93	65.10	46.50	6.51	4.65
	II	23	16.10	11.50	1.61	1.15
	III	81	56.70	40.50	5.67	4.05
Pebruari	I	99	69.30	49.50	6.93	4.95
	II	63	44.10	31.50	4.41	3.15
	III	55	38.50	27.50	3.85	2.75
Maret	I	42	29.40	21.00	2.94	2.10
	II	29	20.30	14.50	2.03	1.45
	III	127	88.90	63.50	8.89	6.35
April	I	76	53.20	38.00	5.32	3.80
	II	90	63.00	45.00	6.30	4.50
	III	43	30.10	21.50	3.01	2.15
Mei	I	23	16.10	11.50	1.61	1.15
	II	12	8.40	6.00	0.84	0.60
	III	0	0	0	0	0
Juni	I	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0
Juli	I	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0
Agustus	I	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0
September	I	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0
Oktober	I	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0
	III	3	2.10	1.50	0.21	0.15
Nopember	I	11	7.70	5.50	0.77	0.55
	II	59	41.30	29.50	4.13	2.95
	III	63	44.10	31.50	4.41	3.15
Desember	I	51	35.70	25.50	3.57	2.55
	II	39	27.30	19.50	2.73	1.95
	III	76	53.20	38.00	5.32	3.80

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan tabel 4.5 curah hujan efektif untuk tanaman padi, jagung, dan palawija

- Kolom 1 : Bulan
- Kolom 2 : Periode
- Kolom 3 : Curah hujan efektif / R80 (didapatkan pada tabel 5.8 dengan cara metode aritmatika)
- Kolom 4 : Re Padi

Curah hujan efektif pada tanaman padi dihitung dengan cara :

Misal pada Januari periode 1 :

$$\begin{aligned} \text{Re padi} &= R_{80} \times 0.7 \\ &= 93 \times 0.7 \\ &= 65.10 \text{ mm/10 hari} \end{aligned}$$

- Kolom 5 : Re Palawija

Curah hujan efektif pada tanaman palawija dihitung dengan cara :

Misal pada Januari periode 1 :

$$\begin{aligned} \text{Re palawija} &= R_{80} \times 0.5 \\ &= 93 \times 0.5 \\ &= 46.50 \text{ mm/10 hari} \end{aligned}$$

#### **4.1.4 Rencana Pola Tanam dan Sistem Penggolongan**

Untuk sistem penggolongan dan rencana pola tanam. Kami menginisiatifkan setiap bulan akan ada proses awal tanam padi. Sedangkan untuk tanaman palawijo hanya pada bulan Juli, Agustus, dan September.

#### **4.1.5 WLR (*Water Layer Requirement*)**

Untuk tanaman padi menggunakan padi varietas unggul sesuai FAO, sehingga umur padi hanya 3 bulan.

Tabel 4.6 Harga Koefesien Tanaman

Bulan	Padi		Kedelai	Palawija	
	Varietas Biasa	Varietas Unggul		Kacang Tanah	Jagung
0.5	1.10	1.10	0.50	0.50	0.50
1.0	1.10	1.10	0.75	0.51	0.95
1.5	1.10	1.05	1.00	0.66	0.96
2.0	1.10	1.05	1.00	0.85	1.05
2.5	1.10	0.95	0.82	0.95	1.02
3.0	1.05	0.00	0.45*	0.95	0.95*
3.5	0.95			0.95	
4.0	0.00			0.55	
4.5				0.55*	

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Dalam pemilihan tanaman palawija yang digunakan adalah tanaman yang sesuai dengan sebelumnya. Yaitu tanaman jagung.

#### 4.1.6 Etc

Tabel LP atau Etc hanya digunakan saat fase persiapan lahan. Jika nilai Eo+P tidak ada dalam tabel harus dicari dengan rumus interpolasi.

Rumus interpolasi:

X1	Y1
X	Y
X2	Y2

$$y = y1 + \frac{(x - x1)}{(x2 - x1)}(y2 - y1)$$

Dengan nilai :

T = 30 hari

S = 250 mm



Tabel 4.7 Kebutuhan Air irigasi saat penyiapan lahan

Eo + P (mm/ha)	T = 30 ha		T = 45 ha	
	s = 250 mm	s = 300 mm	s = 250 mm	s = 300 mm
3.0	9.7	11.3		
3.5	10.0	11.7		
4.0	10.3	12.00		
4.5	10.7	12.3		
5.0	11.1	12.7	8.4	9.5
5.5	11.4	13.0	8.8	9.8
6.0	11.7	13.3	9.1	10.1
6.5	12.0	13.6	9.4	10.4
7	12.3	13.9	9.8	10.8
7.5	12.6	14.2	10.1	11.1
8.0	13.0	14.5	10.5	11.4
8.5	13.3	14.8	10.8	11.8
9.0	13.6	15.2	11.2	12.1
9.5	14.0	15.5	11.6	12.5
10	14.3	15.8	12.0	12.9
10.5	14.7	16.2	12.4	13.2
11.0	15.0	16.5	12.8	13.6

Sumber: Direktorat Jenderal Pengairan, 1986

Saat menghitung kebutuhan air untuk konsumtif tanaman (Etc).

$$M = Eo + P$$

Dengan :

M = Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan

Eo = Evaporasi air terbuka (mm/hari)  
=  $E_{To} \times 1,10$

P = Perkolasi (mm/hari) (Tergantung tekstur tanah)

Sehingga menghasilkan perhitungan seperti tabel 4.8.

#### 4.1.7 Kebutuhan Air Untuk Tanaman

- Kebutuhan bersih air di sawah ( NFR )

Saat fase penyiapan lahan rumus NFR seperti berikut :

$$\text{NFR padi} = \text{Etc} \times \text{Re}$$

Sedangkan saat fase pertumbuhan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{NFR}_{\text{padi}} = \text{Etc} + \text{P} - \text{Re} + \text{WLR}$$

$$\text{NFR}_{\text{pol}} = \text{Etc} - \text{Re}_{\text{pol}}$$

- Kebutuhan air irigasi di pintu pengambilan

$$\text{DR} = \text{NFR} / e \cdot 8,64$$

$e$  = menggunakan 0,65

Sehingga diperoleh hasil perhitungan seperti tabel 4.9.

Tabel 4.8 Etc

Bulan	Periode	Et0	E0= Et0x1,1 (mm/hari)	M=(E0+P) (mm/hari)	S (mm/hari)	T (mm/hari)	LP/Etc untuk T = 30 hari
Januari	I	1.85	2.03	4.03	250.00	30.00	10.324
	II	1.85	2.03	4.03	250.00	30.00	10.324
	III	1.85	2.03	4.03	250.00	30.00	10.324
Pebruari	I	1.91	2.10	4.10	250.00	30.00	10.380
	II	1.91	2.10	4.10	250.00	30.00	10.380
	III	1.91	2.10	4.10	250.00	30.00	10.380
Maret	I	1.74	1.92	3.92	250.00	30.00	10.252
	II	1.74	1.92	3.92	250.00	30.00	10.252
	III	1.74	1.92	3.92	250.00	30.00	10.252
April	I	1.40	1.54	3.54	250.00	30.00	10.024
	II	1.40	1.54	3.54	250.00	30.00	10.024
	III	1.40	1.54	3.54	250.00	30.00	10.024
Mei	I	1.31	1.44	3.44	250.00	30.00	9.964
	II	1.31	1.44	3.44	250.00	30.00	9.964
	III	1.31	1.44	3.44	250.00	30.00	9.964
Juni	I	1.25	1.38	3.38	250.00	30.00	9.928
	II	1.25	1.38	3.38	250.00	30.00	9.928
	III	1.25	1.38	3.38	250.00	30.00	9.928
Juli	I	1.27	1.40	3.40	250.00	30.00	9.940
	II	1.27	1.40	3.40	250.00	30.00	9.940
	III	1.27	1.40	3.40	250.00	30.00	9.940
Agustus	I	1.59	1.75	3.75	250.00	30.00	10.150
	II	1.59	1.75	3.75	250.00	30.00	10.150
	III	1.59	1.75	3.75	250.00	30.00	10.150
September	I	2.01	2.21	4.21	250.00	30.00	10.468
	II	2.01	2.21	4.21	250.00	30.00	10.468
	III	2.01	2.21	4.21	250.00	30.00	10.468
Oktober	I	2.12	2.34	4.34	250.00	30.00	10.572
	II	2.12	2.34	4.34	250.00	30.00	10.572
	III	2.12	2.34	4.34	250.00	30.00	10.572
Nopember	I	1.89	2.08	4.08	250.00	30.00	10.364
	II	1.89	2.08	4.08	250.00	30.00	10.364
	III	1.89	2.08	4.08	250.00	30.00	10.364
Desember	I	1.75	1.93	3.93	250.00	30.00	10.258
	II	1.75	1.93	3.93	250.00	30.00	10.258
	III	1.75	1.93	3.93	250.00	30.00	10.258

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.9 Rencana Pola Tanam dan Kebutuhan Airnya Awal tanam bulan Nopember

Bulan	Periode	E <sub>0</sub> (mm/hari)	Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Tanaman Padi				NFR (mm/hari)	DR (mm/hari)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Tanaman Palaupis				E <sub>ic</sub> (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (mm/hari)
						Kc-1	Kc-2	Kc-3	Kc					Kc-1	Kc-2	Kc-3	Kc			
Januari	I	1,85	6,51	2	1,66	1,05	1,05	1,05	1,05	1,84	-0,91	0,00	4,65	2						
	II	1,85	1,61	2	1,66	0,95	1,05	1,05	1,02	1,88	3,93	0,70	1,15	2						
Februari	I	1,85	5,67	2	1,66	0,95	0,95	1,05	0,98	1,82	-0,19	0,00	4,05	2						
	II	1,91	6,93	2	0,83	0	0,95	0,95	0,63	1,21	-2,89	0,00	4,95	2						
Maret	I	1,91	4,41	2	0	0	0	0,95	0,48	0,91	-1,50	0,00	3,15	2						
	II	1,91	3,85	2	0	0	0	0	0	0,00	-1,85	0,00	2,75	2						
April	I	1,34	2,94	2	0,1 LP	LP	LP	LP	0	10,25	7,31	1,30	2,10	2						
	II	1,34	2,03	2	0	1,1 LP	LP	LP	10,25	8,22	1,46	1,45	2							
Mei	I	1,40	5,32	2	0,83	1,1	1,1 LP	LP	10,25	1,36	0,24	6,35	2							
	II	1,40	3,01	2	1,66	1,05	1,1	1,1	1,10	1,54	-0,12	0,00	4,50	2						
Juni	I	1,31	1,61	2	1,66	1,05	1,05	1,05	1,1	1,08	1,52	-1,12	0,00	2,15	2					
	II	1,31	0,84	2	1,66	0,95	1,05	1,05	1,02	1,33	4,15	0,61	1,15	2	0,5	0	0	0,17	0,22	1,07
Juli	I	1,25	0	2	0,83	0	0,95	0,95	0,63	0,79	3,62	0,46	0	2	0,59	0,5	0	0,56	0,48	1,88
	II	1,25	0	2	0	0	0	0,95	0,48	0,59	2,59	0,36	0	2	0,96	0,59	0,5	0,56	0,74	2,74
Agustus	I	1,27	0	2	0	0	0	0	0,00	0,00	2,00	0,36	0	2	1,05	0,96	0,99	0,71	0,89	2,89
	II	1,27	0	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,36	0	2	1,05	1,05	0,96	1,02	1,28	3,08
September	I	2,01	0	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,36	0	2	1,02	1,05	1,04	1,04	1,32	3,32
	II	2,01	0	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,36	0	2	1,02	1,02	1,06	1,05	1,31	3,31
Oktober	I	2,12	0	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,36	0	2	0,95	1,02	1,02	0,97	1,24	3,24
	II	2,12	0	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,36	0	2	0	0,95	0,96	0,65	1,01	3,01
November	I	1,89	0,77	2	0,1 LP	LP	LP	LP	10,36	11,59	2,06	0,15	2	2	0	0	0	0,00	0,00	2,00
	II	1,89	4,13	2	0	1,1 LP	LP	LP	10,36	8,23	1,47	2,95	2	2	0	0	0	0	0	0
Desember	I	1,89	4,41	2	0,83	1,1	1,1 LP	LP	10,36	8,78	1,56	3,15	2	2	0	0	0	0	0	0
	II	1,75	3,57	2	1,66	1,1	1,1	1,1	1,10	1,93	2,02	0,36	2,55	2	0	0	0	0	0	0
Januari	I	1,75	2,73	2	1,66	1,05	1,1	1,1	1,08	1,90	2,83	0,50	1,95	2	0	0	0	0	0	0
	II	1,75	5,32	2	1,66	1,05	1,05	1,1	1,07	1,87	0,21	0,04	3,80	2	0	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan kebutuhan air tanaman untuk awal tanam yang berbeda dapat dilihat pada lampiran halaman 102-113

## **4.2 Analisis Debit Sungai**

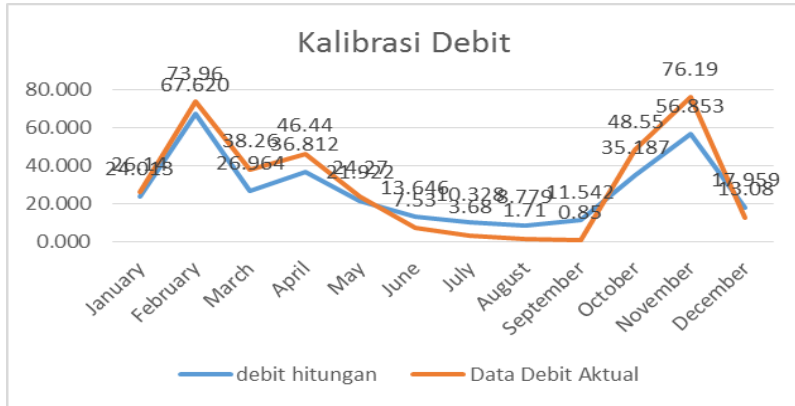
### **4.2.1 Debit Sungai Kali Grindulu AWLR Gunungsari**

Dalam perhitungan debit sungai digunakan metode F.J. Mock dengan memerhatikan luas DAS. Sebelum menghitung Debit sungai harus mengetahui terlebih dahulu debit aktual AWLR Gunungsari. Yang nantinya dari parameter koefisien perhitungan kalibrasi digunakan untuk menghitung debit sungai kali Telu. Perhitungan debit sungai akan disajikan pada tabel 4.10 dan grafik hasil kalibrasi disajikan pada gambar 4.1.

Tabel 4.10 Perhitungan Debit Sungai dengan Metode F.J Mock

Urutan	Htungan	Situan	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
<b>Data Hujan</b>														
Curah Hujan (P)	data	mm/bn	471	290	378	386	213	294	96	0	3	132	308	419
Hari Hujan (h)	data	mm/bn	22	16	19	17	12	13	8	0	1	4	18	15
Evaporasi Terbatas (Et)	data	mm/bn	57,328	53,391	54,005	42,036	40,702	37,517	39,367	49,536	60,291	65,841	56,710	54,332
Evaporasi Potensial (Eto <sup>a</sup> )	data	%	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000	30,000
Permukaan Lahan Terbuka	data	mm/bn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E <sub>t</sub> = (Eto <sup>b</sup> ) <sup>10</sup> / 20 <sup>(18+h)</sup>	data	mm/bn	0,000	1,068	0,000	0,420	2,442	0,000	3,937	8,881	10,249	9,218	0,000	1,630
E <sub>t</sub> = (Eto <sup>c</sup> ) <sup>2</sup> / E	(3) - (6)	mm/bn	57,328	52,324	54,005	41,615	38,260	37,517	35,430	40,456	50,041	56,623	56,710	52,702
<b>Keseimbangan Air</b>														
Kekurangan tanah (SMS)	ISM + P - Et	mm/bn	613,672	437,676	523,995	544,385	374,740	456,483	240,570	159,544	152,959	273,377	451,290	566,298
Kekurangan Air (WS)	ISM + R - Et - SMC	mm/bn	528,672	352,676	438,995	459,385	289,740	371,483	175,570	74,544	67,959	190,377	366,290	481,298
<b>Akhir dan Simpanan Air Tanah</b>														
Infiltrasi	WS x IF	mm/bn	211,469	141,071	175,598	183,754	115,896	148,593	70,228	29,818	27,184	76,151	146,516	192,519
0,5 x (1 + k) x (13)	htungan		169,175	70,535	87,799	91,877	57,948	74,297	35,114	14,909	13,592	38,075	73,258	96,260
K x V (6+1)	htungan		169,175	70,535	87,799	91,877	57,948	74,297	35,114	14,909	13,592	38,075	73,258	96,260
Simpanan (Vn)	(1) - (2)	mm/bn	221,109	203,900	209,710	217,208	188,573	187,140	147,458	103,456	95,063	82,474	123,435	170,265
Pembelian Volume (DVn)	(Vn - Vn - 1)	mm/bn	221,109	-17,908	6,519	7,989	-29,135	-1,133	-39,862	-44,122	-27,791	7,809	39,868	46,923
(10) x (1-4)		mm/bn	-9,640	158,979	169,079	175,765	145,031	149,726	110,900	73,940	54,974	68,341	106,648	145,597
Akhiran Langsung (DR)	(9) x (1-IF)	mm/bn	317,203	211,006	263,397	275,631	173,844	22,890	105,342	44,726	40,775	114,226	219,774	288,779
Akhiran (R)	(15) + (16)	mm/bn	307,564	370,385	432,476	451,395	318,875	372,615	215,432	118,667	95,749	182,567	326,421	434,376
<b>Debit Akiran Sungai</b>														
Jumlah Hari			31	28,00	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Debit Air Sungai	A x (17) x (1/jml hari x 8,64)	m <sup>3</sup> /detik	5,489	7,322	7,718	8,324	5,691	6,872	3,845	2,118	1,766	3,258	6,020	7,752
Debit Akiran Sungai		l/detik	5,489	7,322	7,718	8,324	5,691	6,872	3,845	2,118	1,766	3,258	6,020	7,752
Kalibrasi			20,77	30,38	18,25	19,59	20,30	18,78	18,20	22,34	27,57	6,09	13,19	14,77

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.1 Grafik Hasil Kalibrasi

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.2.2 Debit Andalan

Data debit tersedia merupakan pengukuran debit sungai, yang diperoleh dari tahun 2007 sampai dengan tahun 2016. Untuk keperluan air irigasi akan dicari debit andalan bulanan dengan tingkat keandalan sebesar 80%. Dengan demikian diharapkan debit tersebut cukup layak untuk keperluan penyediaan air untuk irigasi.

Debit andalan 80% ialah debit dengan kemungkinan terpenuhi 80% atau tidak terpenuhi 20% dari periode waktu tertentu. Untuk menentukan kemungkinan terpenuhi atau tidak terpenuhi, debit yang sudah diamati disusun dengan urutan dari terbesar menuju terkecil. Catatan n tahun sehingga debit dengan kemungkinan tak terpenuhi 20%, dapat dihitung volume andalan dengan menggunakan metode kalifornia.

$$P = \frac{m}{n} \times 100\%$$

Peluang yang dibutuhkan dalam debit andalan adalah 80%. Maka,

Contoh perhitungan untuk bulan Januari periode pertama:

a. Merangking data debit sungai tahunan dari terbesar sampai terkecil dari tahun 2007 sampai dengan 2016.

$$\begin{aligned} \text{b. Menghitung } P &= \frac{m}{n} \times 100\% \\ &= \frac{8}{10} \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

c. Dari 20 data debit sungai yang telah diurutkan tersebut diambil urutan ke-3 dari urutan terkecil sebagai  $Q_{80}$  nya.

Dapat disimpulkan, dari data yang telah diurutkan dari yang terbesar sampai terkecil, karena 2 peringkat terbawah merupakan debit tak terpenuhi, diambil peringkat 3 terbawah sebagai nilai debit andalannya. Untuk hasil perhitungannya direkap pada Tabel 4.11.



Tabel 4.11 Debit Andalan

No	m/nx100%	Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Jumlah
1	10	2016	4.07	7.34	8.48	7.16	7.19	6.49	4.56	4.48	5.08	5.72	11.02	6.75	78.32
2	20	2010	5.71	8.69	7.80	6.28	6.05	5.26	2.79	3.81	5.33	3.50	7.92	8.45	71.60
3	30	2013	6.42	6.91	7.50	8.19	5.61	6.82	3.82	2.10	1.76	3.25	6.02	7.75	66.13
4	40	2011	4.91	8.11	7.63	8.55	5.38	2.48	2.07	1.71	1.48	1.54	4.34	5.86	54.05
5	50	2014	6.67	5.99	4.66	4.24	2.73	5.88	2.57	1.93	1.54	1.30	5.08	10.51	53.09
6	60	2008	3.98	5.58	9.36	6.83	3.59	2.21	1.91	1.62	1.42	3.85	8.02	3.97	52.34
7	70	2007	1.48	7.12	4.10	10.11	3.40	2.97	2.03	1.67	1.45	2.56	5.18	9.64	51.71
8	80	2015	5.20	6.73	7.38	7.64	5.07	2.63	2.03	1.69	1.47	1.26	4.26	5.28	50.66
9	90	2012	4.15	8.04	6.70	5.93	3.49	2.28	1.87	1.60	1.41	2.06	4.42	5.95	47.89
10	100	2009	2.93	8.49	4.39	4.99	5.20	2.80	2.27	1.72	1.46	1.63	4.40	4.41	44.70
Q80 (m <sup>3</sup> /dt)															
Q80 (l/dt)			5202.20	6731.61	7379.52	7643.45	5069.19	2632.31	2034.96	1694.76	1468.11	1255.49	4264.87	5280.82	50657.29

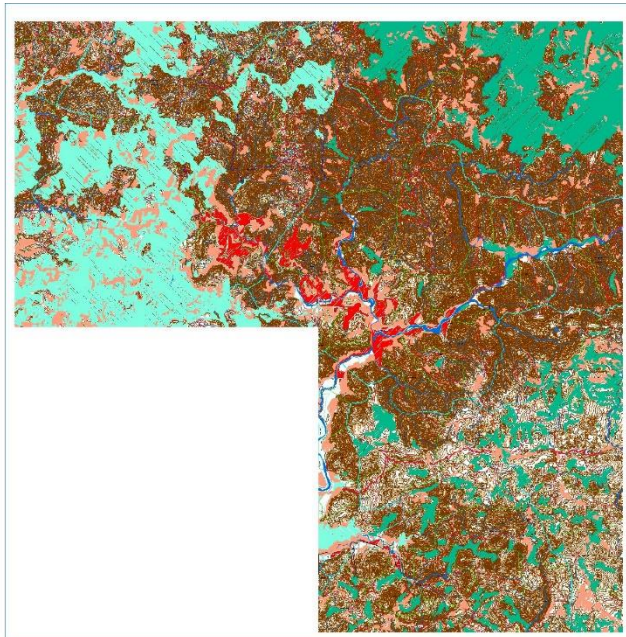
Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.3 Penelusuran Lahan Irigasi

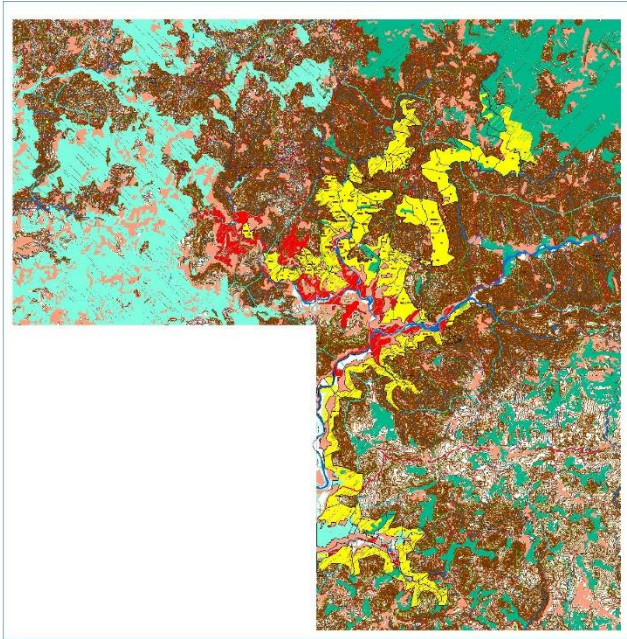
Dalam merencanakan jaringan lahan irigasi, kontur tanah adalah hal yang perlu diperhatikan. Sungai dan jalan digunakan sebagai pembatas petak sawah. Lahan irigasi yang direncanakan dibagi menjadi 2, yaitu lahan fungsional dan potensial.

Lahan fungsional terdiri dari lahan irigasi tadah hujan dan irigasi non teknis. Sedangkan lahan potensial terdiri dari semak belukar, perkebunan bero, dan tanah ladang.

Jaringan lahan irigasi sebelum dioptimasi seperti gambar 4.2. Sedangkan untuk jaringan lahan irigasi sesudah optimasi seperti gambar 4.3.



Gambar 4.2 Luas Irigasi Sebelum Dioptimasi



Gambar 4.3 Luas Irigasi Setelah Dioptimasi

#### 4.4 Proyeksi Pertumbuhan Penduduk

Tujuan dari proyeksi pertumbuhan penduduk ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pertumbuhan penduduk yang akan berkaitan dengan jumlah kebutuhan air baku yang dibutuhkan. rencana pengembangan penyediaan air hingga tahun 2042. Oleh karena itu dibutuhkan suatu model proyeksi penduduk, yang dapat mengetahui kebutuhan air minum penduduk hingga tahun perencanaan. Karena seiring dengan perkembangan penduduk, maka pola hidup masyarakatnya juga akan berubah, dalam hal ini adalah mengenai meningkatnya jumlah kebutuhan air bersih dan air minum penduduk tiap tahunnya. Perhitungan proyeksi penduduk tersebut berdasarkan pada perkembangan penduduk tujuh tahun ke belakang mulai dari tahun yang sedang berjalan. Tabel 4.12 adalah data perkembangan penduduk

Tabel 4.12 Data Penduduk Tahun 2007-2015

Desa	Tahun								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Arjosari	1791	1792	1807	1811	1807	1818	1819	1804	1800
Gayuhan	1610	1622	1704	1706	1714	1733	1753	1758	1743
Tremas	1925	1928	1925	1929	1931	1939	1952	1991	2004
Panggok	1960	1967	1977	1987	2012	2031	2071	2051	2048
Bolosingo	1076	1098	1208	1296	1305	1373	1383	1385	1385
Gunung Sari	2076	2098	2125	2184	2182	2196	2356	2328	2321
Gembong	2079	2207	2295	2313	2332	2331	2336	2369	2340
Jatimalang	2198	2201	2298	2191	2292	2319	2348	2411	2458
Pacitan	3169	3178	3198	3201	3224	3254	3235	3235	3240
Karangrejo	2501	2578	2649	2644	2639	2319	2798	2806	2849
Sedayu	3188	3199	3210	3218	3219	3247	3366	3388	3390
Mlati	2789	2897	2941	2762	2992	3005	3049	3072	3094
Sambung	2849	2857	2865	2876	2912	2938	3159	3170	3240
Pucang sewu	3021	2987	3061	3076	3100	3127	3505	3493	3550

Sumber: Badan Pusat Statistik Pacitan, 2008-2016

Dengan data pertumbuhan penduduk, maka dapat direncanakan jumlah penduduk untuk tahun yang akan datang. Perencanaan jumlah penduduk dapat menggunakan tiga metode yaitu Metode Aritmatika, Metode Geometrik, dan Metode Least

Square. Dalam menentukan metode yang digunakan, dengan melihat nilai korelasi (R) yang hasilnya mendekati angka 1.

#### 4.4.1 Proyeksi Penduduk Metode Aritmatika

Perhitungan perkembangan penduduk dengan metode ini digunakan apabila pertumbuhan penduduk meningkat secara konstan, dan persamaan yang digunakan adalah :

$$I = \frac{Pt - Po}{t} \quad Pn = Pt + I(n)$$

Keterangan:

- Pn =Jumlah penduduk pada tahun ke n
- Po =Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke I
- Pt =Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun terakhir
- t =Jumlah tahun yang diketahui
- n =Jumlah Interval
- I =Konstanta Aritmatik

Contoh perhitungan :

Prediksi pertumbuhan penduduk desa Gayuhan 2042

Tahun 2015 = 1743 jiwa

Tahun 2007 = 1610 jiwa

$$I = \frac{pt - po}{t}$$

$$I = \frac{1743 - 1610}{2015 - 2007}$$

$$I = 16.625$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= P_t + I(n) \\
 &= 1743 + 16.625 (2042-2015) \\
 &= 2192
 \end{aligned}$$

Jadi jumlah penduduk di desa gayuhan tahun 2042 adalah 2192 jiwa. Untuk lebih jelasnya perhitungannya akan disajikan berdasarkan tabel 4.13

Tabel 4.13 Perhitungan Proyeksi Pertumbuhan Peduduk Metode Aritmatika Tahun 2042

No.	Nama Desa	Po	Pt	t	I	n	Pn
1	Arjosari	1791	1800	8	1.125	27	1830
2	Gayuhan	1610	1743	8	16.625	27	2192
3	Tremas	1925	2004	8	9.875	27	2271
4	Jatimalang	2198	2458	8	32.5	27	3336
5	Karangrejo	2501	2849	8	43.5	27	4024
6	Sedayu	3188	3390	8	25.25	27	4072
7	Mlati	2789	3094	8	38.125	27	4123

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.4.2 Prediksi Jumlah Penduduk (Metode Geometrik)

Perhitungan perkembangan populasi berdasarkan pada angka kenaikan penduduk rata – rata, yang digunakan apabila pertumbuhan penduduk secara berganda, dan persamaan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned}
 r &= \left( \frac{a - P_o}{n \cdot a} \right) \times 100 \% \\
 P_n &= P_o (1 + r)^n
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$P_n$  =Jumlah penduduk pada tahun ke n

Po =Jumlah penduduk yang diketahui pada tahun ke I

r =Laju pertumbuhan penduduk

n =Jumlah Interval

Contoh perhitungan :

Tabel 4.14 Jumlah Penduduk Desa Gayuhan

No.	Nama Desa	Tahun									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2042
1	Gayuhan	1610	1622	1704	1706	1714	1733	1753	1758	1743	

Sumber: Badan Pusat Statistik Pacitan, 2008-2016

Prediksi jumlah penduduk Desa Gayuhan tahun 2042

$$P = \left( \frac{1743 - 1610}{8 \cdot 1610} \right) \times 100 \%$$

$$P = 0.00997\%$$

$$P_n = 1743 (1 + 0.00997)^{27}$$

$$P_n = 2278 \text{ jiwa}$$

Jadi, jumlah penduduk Desa Gayuhan di tahun 2040 yakni 2278 jiwa. Untuk lebih jelasnya perhitungannya akan disajikan berdasarkan tabel 4.15.

Tabel 4.15 Perhitungan Proyeksi Penduduk Metode Geometrik Tahun 2042

No.	Nama Desa	a	Pt	m	n	P%	Pn
1	Arjosari	1791	1800	8	27	0.00063	1831
2	Gayuhan	1610	1743	8	27	0.00997	2278
3	Tremas	1925	2004	8	27	0.00504	2295
4	Jatimalang	2198	2458	8	27	0.014	3585
5	Karangrejo	2501	2849	8	27	0.016	4422
6	Sedayu	3188	3390	8	27	0.008	4171
7	Mlati	2789	3094	8	27	0.013	4392

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.4.3 Prediksi Jumlah Penduduk (Metode *Least Square*)

Metode ini umumnya digunakan pada daerah yang tingkat pertambahan penduduk cukup tinggi. Perhitungan pertambahan jumlah penduduk dengan metode ini didasarkan pada data tahun sebelumnya dengan menganggap bahwa pertambahan jumlah penduduk suatu daerah disebabkan oleh kematian, kelahiran, dan migrasi. Persamaan untuk metode ini adalah :

$$Y = a + x b$$

Keterangan:

Y = Nilai Variabel berdasarkan garis regresi

x = Variabel Perhitungan

a = Konstanta

b = Koefisien arah regresi linier

Contoh Perhitungan :

**Tabel 4.16 Contoh Perhitungan Proyeksi Penduduk Desa Gayuhan**

No.	Nama Desa	Tahun									Jumlah
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
	Gayuhan	1610	1622	1704	1706	1714	1733	1753	1758	1743	15343
1	x	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	0
	x <sup>2</sup>	16	9	4	1	0	1	4	9	16	60
	xy	-6440	-4866	-3408	-1706	0	1733	3506	5274	6972	1065
			a =	1917.875							
			b =	17.750							
			x =	27							
			Ŷ =	2397							

Sumber: Hasil Perhitungan

Jadi Jumlah Penduduk Desa Gayuhan tahun 2042 adalah 2397 jiwa. Untuk lebih jelasnya perhitungannya akan disajikan berdasarkan tabel 4.17.



Tabel 4.17 Perhitungan Proyeksi Penduduk Metode *Least Square*  
Tahun 2042

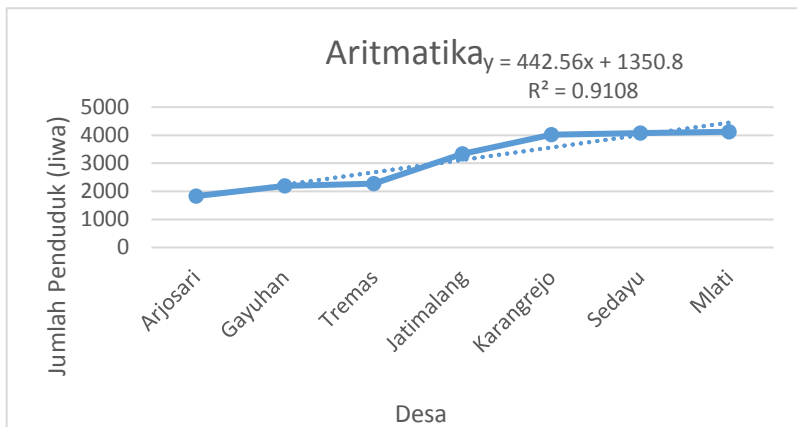
No.	Nama Desa	a	b	x	$\bar{Y}$
1	Arjosari	2031	1.72	27	2077
2	Gayuhan	1918	17.75	27	2397
3	Tremas	2191	9.48	27	2447
4	Jatimalang	2590	31.63	27	3444
5	Karangrejo	2973	34.15	27	3895
6	Sedayu	3678	28.60	27	4450
7	Mlati	3325	36.73	27	4317

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 4.4.4 Korelasi (R) antara Metode Aritmatika, Metode Geometrik dan Metode *Least Square*

##### 1. Metode Aritmatika

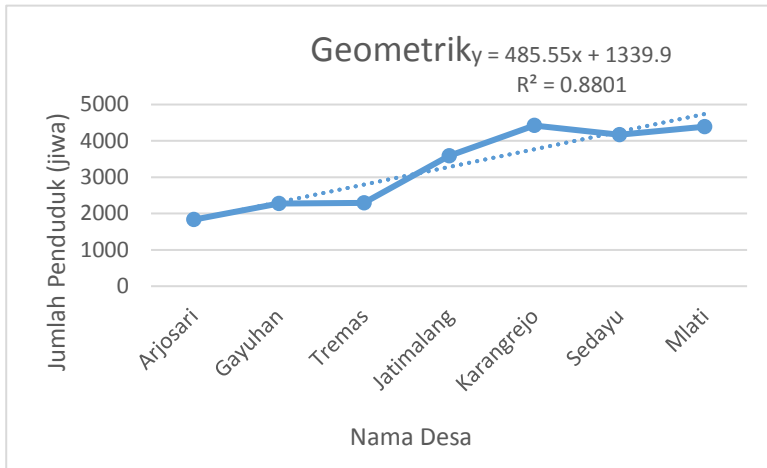
Nilai korelasi = 0.9108



Gambar 4.4 Grafik Pertumbuhan Penduduk Metode Aritmatika  
Sumber: Hasil Perhitungan

## 2. Metode Geometrik

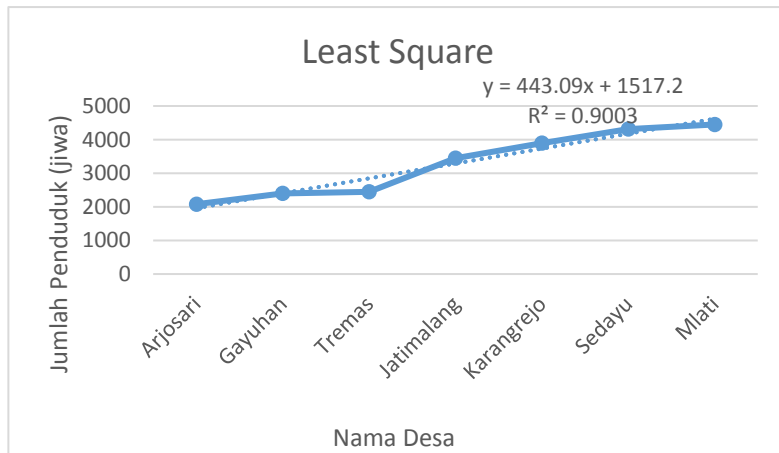
Nilai korelasi = 0.8801



Gambar 4.5 Grafik Pertumbuhan Penduduk Metode Geometrik  
 Sumber: Hasil Perhitungan

## 3. Metode *least Square*

Nilai korelasi = 0.9003



Gambar 4.6 Pertumbuhan Penduduk Metode *Least Square*  
 Sumber: Hasil Perhitungan

Nilai Koefisien determinasi yang dipakai ialah yang mendekati angka 1. Yang menggambarkan bahwa metode yang digunakan lebih mewakili nilai pendekatan pertumbuhan penduduk secara optimum terhadap pola pertumbuhan penduduk yang terjadi sebenarnya untuk masa yang akan datang.

Tabel 4.18 Tabel Perbandingan Nilai Korelasi

Metode	Nilai Korelasi
Aritmatika	0.9108
Geometrik	0.8801
<i>Least Square</i>	0.9003

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perbandingan korelasi pada tabel 4.18 metode proyeksi jumlah penduduk yang dipilih adalah metode aritmatika, karena nilai korelasi untuk metode aritmatika mendekati nilai 1.

#### 4.5 Kebutuhan Air

Kebutuhan air dihitung berdasarkan proyeksi penduduk yang telah dihitung yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya.

Contoh perhitungan pada Desa Arjosari :

Jumlah penduduk	= 1830 Jiwa	
Domestik	= 1830 Jiwa x 80	= 146430 lt/hari
Non Domestik	= 1830 Jiwa x 15% x 30	= 8236.69 lt/hari
Kehilangan Air	= 1830 Jiwa x 20%	= 366.075 lt/hari
Jumlah	= 155032.8 lt/hari	= 0.0018 m <sup>3</sup> /detik

Tabel 4.19 Perhitungan Kebutuhan Air Baku

No	Zona	Jumlah Penduduk (jiwa)	Domestik (liter/hr)	Non Domestik (liter/hr)	Kehilangan Air (liter/hr)	Jumlah (liter/hr)	Jumlah (m <sup>3</sup> /dt)	Jumlah lt/dt
1	Arjosari	1830	146430	8236.688	366.08	155032.8	0.0018	1.7944
2	Gayuhan	2192	175350	9863.438	438.38	185651.8	0.0021	2.1487
3	Tremas	2271	181650	10217.813	454.13	192321.9	0.0022	2.2259
4	Jatimalang	3336	266840	15009.750	667.10	282516.9	0.0033	3.2699
5	Karangrejo	4024	321880	18105.750	804.70	340790.5	0.0039	3.9443
6	Sedayu	4072	325740	18322.875	814.35	344877.2	0.0040	3.9916
7	Mlati	4123	329870	18555.188	824.68	349249.9	0.0040	4.0422
		Jumlah				1850441	0.02142	21.417

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan prediksi data jumlah penduduk Kecamatan Arjosari tahun 2042 tabel 4.13 dikali dengan standar kebutuhan air menurut Dinas Cipta Karya maka didapat  $Q = 0.021417$  m<sup>3</sup>/dt seperti tabel 4.19.

#### 4.6 Optimasi Irigasi dengan Metode Add-ins Solver Mic. Excel.

##### 4.6.1 Analisa Optimasi Berdasarkan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum

Saat proses optimasi langkah yang dilakukan seperti pada sub bab 2.6.

Fungsi yang harus diisi dalam kolom solver :

- Set Objective :

$$\text{Max}Z = \sum_1^{12}(DP.Xi) + \sum_1^3(DJ.Pi)$$

Dimana :

Z : Luas tanam dalam setahun (ha)

Xi : Luas areal tanaman untuk jenis padi, golongan bulan ke  $i_{1-12}$  (ha).

Pi : Luas areal tanaman untuk jenis palawija, golongan bulan ke  $i_{1-3}$  (ha).

DP : Unit kebutuhan air (DR) untuk tanaman padi yang ditanam mulai bulan  $i$  (lt/dt/ha).

Dj : Unit kebutuhan air (DR) untuk tanaman palawija yang ditanam mulai bulan  $i$  (lt/dt/ha).

- Changing Variable : Luas tanam pada tiap bulannya.  $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ . Dan  $P_1$ - $P_3$ .

- Constraints

1.  $\sum A_i \leq Areal$

$\sum A_i$  : Jumlah luas tanam pada bulan  $i$

Areal : Jumlah luas lahan irigasi (6036.66 ha)

2.  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{12}, P_1, P_2, P_3 \geq 0$

Luas tanam padi  $X_1 \geq 0$  pada bulan Nop

Luas tanam padi  $X_2 \geq 0$  pada bulan Des

Luas tanam padi  $X_3 \geq 0$  ..... dst.  $X_{12}$

Luas tanam palawija  $P_1 \geq 0$  pada bulan Mei

Luas tanam palawija  $P_2 \geq 0$  .....dst.  $P_3$

3. Komulatif Outflow  $\leq$  Komulatif Inflow setelah air baku.

#### Hasil Optimasi Pola Tanam

Dengan menggunakan rumusan set objective dan constrain kemudian di analisis menggunakan program linier Microsoft excel dan dengan bantuan add ins solver, sehingga diperoleh hasil opsi 1 yaitu optimasi dengan debit andalan 80%. Hasil analisa kebutuhan air untuk tanaman ditunjukkan pada tabel 4.20 seperti dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dijelaskan bahwa setiap bulannya dimulai tanam padi dengan luas sawah sebesar  $X$  ha. Tanam padi dimulai bulan Nopember dengan luas  $X_1$ , tanam padi dimulai bulan Desember dengan luas  $X_2$ , dan seterusnya hingga 12 bulan. Sedangkan palawija dimulai tanam bulan mei dengan luas  $P_1$ , bulan Juni dengan luas  $P_2$  dan seterusnya hingga  $P_3$ .



Dari hasil perhitungan *Microsoft Excel – solver* tersebut diperoleh solusi optimum sebagai berikut :

- Luas lahan yang dihasilkan :

Tabel 4.21 Luas Hasil Optimasi dengan debit kebutuhan irigasi optimum

Luas Lahan	
	ha
X1	4785.6
X2	140.2
X3	408.1
X4	702.7
X5	4785.6
X6	140.2
X7	0.0
X8	0.0
X9	4079.9
X10	140.2
X11	408.1
X12	702.7
P1	408.1
P2	702.7
P3	705.7

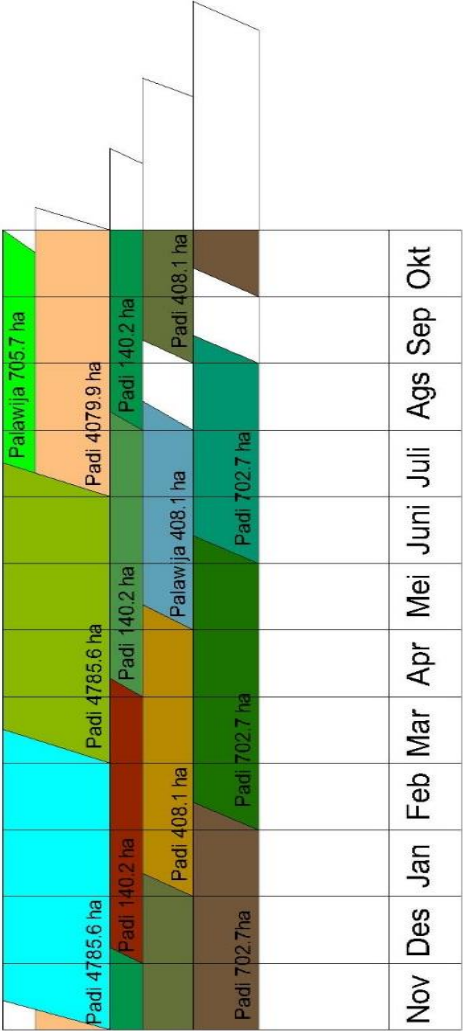
Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan dari tabel 4.21:

X<sub>1-12</sub> : Untuk padi pada bulan Nopember s/d Bulan Oktober

P<sub>1-3</sub> : Untuk palawija pada bulan Mei s/d Bulan Juli

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa tidak ada awal tanam padi pada bulan Mei dan Juni.



Gambar 4.7 Sketsa Pola Tanam Hasil Optimasi

Sumber: Hasil Perhitungan

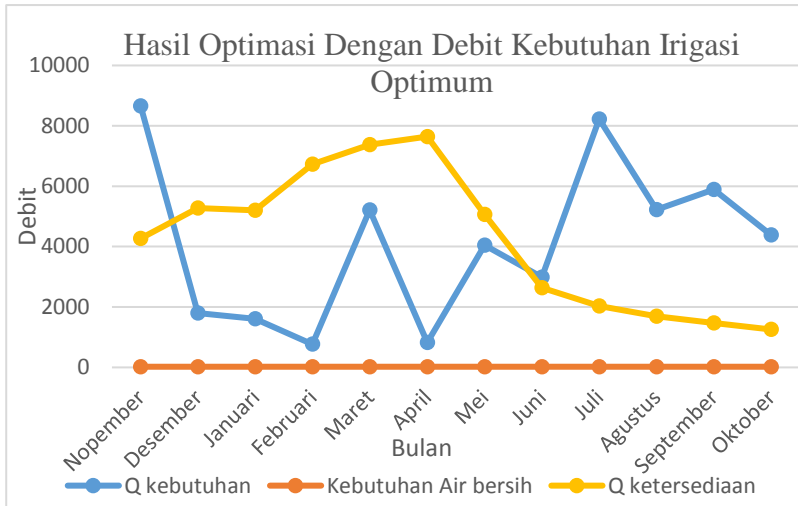


Tabel 4.22 Keterangan Luas Lahan

Luas Lahan Ha	Nama Blok	Tanaman	Awal tanam
4785.62	BLOK 1	Padi 1	Nop
		Padi 2	Maret
		Padi 3	Juli
		Palawija	
140.19	BLOK 2	Padi 1	Des
		Padi 2	April
		Padi 3	Agust
		Padi 1	Januari
408.13	BLOK 3	Palawija	Mei
		Padi 2	September
		Padi 1	Februari
		Palawija	Juni
702.73	BLOK 4	Padi 2	Oktober

Sumber : Hasil Perhitungan

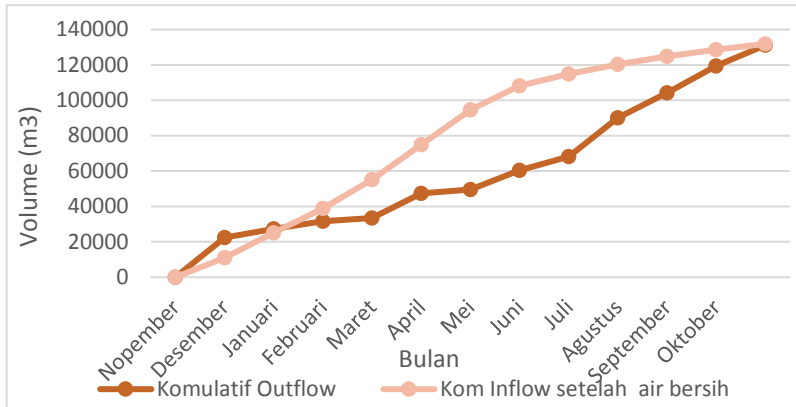
Dari hasil optimasi didapatkan pola tanam yang optimum, seperti tergambar pada gambar 4.7 dan tiap bloknya dapat diketahui pola tanamnya dapat dilihat pada tabel 4.22.



Gambar 4.8 Grafik optimasi menggunakan debit kebutuhan irigasi optimum

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik 4.8 dapat diketahui grafik hasil optimasi dengan debit kebutuhan irigasi optimum. Ketika musim hujan dan kemarau I yaitu bulan Nopember, Desember, Januari, Februari, Maret, April, Mei, dan Juni mengalami kelebihan air sehingga ditampung pada tampungan waduk. Saat musim kemarau II yaitu bulan Juli, Agustus, September, dan Oktober mengalami kekurangan air sehingga air hasil penyadapan di tampungan waduk digunakan untuk mencukupi kebutuhan air. Sehingga intensitas tanamnya 300% dengan luas lahan 6036.663 ha.



Gambar 4.9 Grafik Kebutuhan Air Irigasi

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik 4.9 dapat diketahui volume tampungan. Berikut penjelasan grafik kebutuhan irigasi. Dapat diketahui bahwa:

Definit positif	= 47.81	jt m <sup>3</sup>
Definit negatifnya	= -11.45	jt m <sup>3</sup>
Tampungan efektif	= 59.26	jt m <sup>3</sup>
Tampungan mati	= 29.37	jt m <sup>3</sup>
Total tampungan yang dibutuhkan = 88.60 jt m <sup>3</sup>		

Sesuai desain konsultan :

Tampungan efektif	= 38.64	jt m <sup>3</sup>
Tampungan mati	= 29.37	jt m <sup>3</sup>
Total tampungan sesuai desain waduk = 68.01 jt m <sup>3</sup>		

#### 4.6.2 Perhitungan PLTM dengan Debit Kebutuhan Irigasi Optimum

Air yang tersedia di Waduk Tukul dapat juga dimanfaatkan untuk memutar turbin yang kemudian untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan listrik yang akan dimanfaatkan. PLTM

memerlukan debit air yang selalu terpenuhi sepanjang tahun untuk memutar turbin, sedangkan debit kebutuhan air untuk irigasi dan air baku pada musim kemarau tidak besar.

Perhitungan PLTM adalah sebagai berikut :

1. Tinggi Jatuh Efektif ( $H_{eff}$ )

Tinggi jatuh efektif didapatkan dari selisih antara elevasi dari permukaan air di upstream dan di downstream.

Elevasi Upstream = +192.1

Elevasi Downstream = +126.5

$H_{eff} \text{ bruto} = \text{Elevasi upstream} - \text{Elevasi Downstream}$

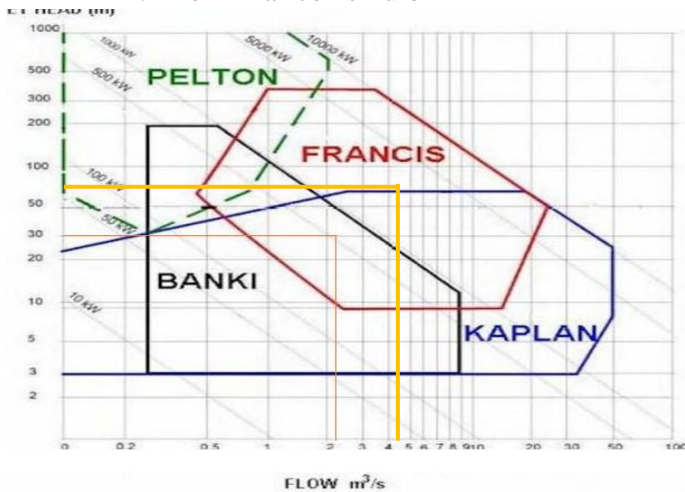
$H_{eff} \text{ bruto} = +192.1 - (+128) = 64.1 \text{ m}$

$H_{eff} \text{ losses} = 10\% \times H_{eff} \text{ bruto} = 0.1 \times 64.1 = 6.41 \text{ m}$

$H_{eff} = H_{eff} \text{ bruto} - H_{eff} \text{ losses} = 64.1 - 6.41 = 57.69 \text{ m}$

Tekanan maksimum 10% dari Head bruto (patty, 1995)

## 2. Pemilihan Jenis Turbin



Gambar 4.10 Grafik Pemilihan Turbin dengan debit kebutuhan irigasi optimum

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.10 turbin yang dipilih dengan tinggi efektif 57.69 m dan besar debit andalan rata-rata 4.22 m³/dt adalah turbin francis, dengan efisiensi 0.83.

### 3. Daya pada PLTM

Tabel 4.23 Perhitungan PLTM dengan debit kebutuhan irigasi optimum

Bulan	g m/s <sup>2</sup>	efisiensi	Q m <sup>3</sup> /s	H m	P Kw	P MW	Energi MWh
1	2	3	4	5	6	7	8
Nopember	9.80	0.83	4.26	57.69	2001.29	2.00	1440.93
Desember	9.80	0.83	5.28	57.69	2478.03	2.48	1843.65
Januari	9.80	0.83	5.20	57.69	2441.13	2.44	1816.20
Februari	9.80	0.83	6.73	57.69	3158.81	3.16	2122.72
Maret	9.80	0.83	7.38	57.69	3462.84	3.46	2576.35
April	9.80	0.83	7.64	57.69	3586.69	3.59	2582.42
Mei	9.80	0.83	5.07	57.69	2378.72	2.38	1769.77
Juni	9.80	0.83	2.63	57.69	1235.21	1.24	889.35
Juli	9.80	0.83	2.03	57.69	954.91	0.95	710.45
Agustus	9.80	0.83	1.69	57.69	795.27	0.80	591.68
September	9.80	0.83	1.47	57.69	688.91	0.69	496.02
Oktober	9.80	0.83	1.26	57.69	589.14	0.59	438.32
Total							17277.867

Sumber: Hasil Perhitungan

Penjelasan dari tabel 4.23 perhitungan PLTM Waduk Tukul dengan debit andalan sebagai berikut :

Kolom 1 : Bulan Nopember sampai oktober

Kolom 2 : Percepatan grafitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)

Kolom 3 : Effisiensi turbin Franchis (0.8-0.9)

Kolom 4 : Debit andalan (m<sup>3</sup>/detik)

Kolom 5 : Tinggi jatuhan atau head (m)

Kolom 6 : Daya yang dihasilkan (kW)

Kolom 7 : Daya yang dihasilkan (MW)

Kolom 8 : Energi yang dihasilkan (MWh)

Contoh perhitungan pada Bulan Nopember

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \text{ (kW)}$$

$$P = 0.83 \times 9.8 \times 4.26 \text{ m}^3/\text{s} \times 57.69 \text{ m}$$

$$P = 2001,29 \text{ kW}$$

$$P = 2,00 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

$$E = P \times t$$

$$E = 2,00 \text{ MW} \times (24 \times 31)$$

$$E = 1440.93 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit andalan menghasilkan daya dan energi terbesar mencapai 3.59 MW dan 2582.42 MWh pada bulan april, Sedangkan daya dan energy terendah sebesar 0.59 MW dan 438.32 MWh pada oktober.

#### 4.6.3 Optimasi Menggunakan Debit Untuk Irigasi Direkayasa Kontinu Sepanjang Tahun

Karena opsi pertama daya untuk pembangkitan PLTM masih fluktuatif maka dibuatlah opsi yang kedua dimana debit yang digunakan untuk pembangkitan PLTM kontinu sepanjang tahun. Pertimbangan debit kontinu adalah untuk pembangkitan PLTM akan lebih baik. Debit kontinu dihasilkan dari komulatif outflow selama setahun. Besarnya debit dihasilkan adalah 4180.12 lt/dt.

**Fungsi yang harus diisi dalam kolom Solver**

- Set Objective :

$$\text{Max}Z = \sum_1^{12}(DP.Xi) + \sum_1^3(DJ.Pi)$$

Dimana :

Z : Luas tanam dalam setahun (ha)

Xi : Luas areal tanaman untuk jenis padi, golongan bulan ke  $i_{1-12}$  (ha).

Pi : Luas areal tanaman untuk jenis palawija, golongan bulan ke  $i_{1-3}$  (ha).

DP: Unit kebutuhan air (DR) untuk tanaman padi yang ditanam mulai bulan  $i$  (lt/dt/ha).

Dj : Unit kebutuhan air (DR) untuk tanaman palawija yang ditanam mulai bulan  $i$  (lt/dt/ha).

- Changing Variable : Luas tanam pada tiap bulannya.  $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ . Dan  $P_1-P_3$ .

- Constraints

1.  $\sum A_i \leq Areal$   
 $\sum A_i$  : Jumlah luas tanam pada bulan i  
Areal : Jumlah luas lahan irigasi (6036.66 ha)
2.  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{12}, P_1, P_2, P_3 \geq 0$   
Luas tanam padi  $X_1 \geq 0$  pada bulan Nop  
Luas tanam padi  $X_2 \geq 0$  pada bulan Des  
Luas tanam padi  $X_3 \geq 0 \dots \dots \dots$  dst.  $X_{12}$   
Luas tanam palawija  $P_1 \geq 0$  pada bulan Mei  
Luas tanam palawija  $P_2 \geq 0 \dots \dots \dots$  dst.  $P_3$
3. Debit Hasil Optimasi  $\leq$  Debit Eksploitasi  
(setiap bulannya)  
Q Optimasi bulan Nop  $\leq$  Q Eksploitasi bulan Nop  
Q Optimasi bulan Des  $\leq$  Q Eksploitasi bulan Des  
Q Optimasi bulan Jan  $\leq$  Q Eksploitasi bulan Jan.....dst sampai bulan Oktober

#### Hasil Optimasi Pola Tanam

Dengan mengganti debit andalan 80% dengan debit kontinu sebesar 4180.12 lt/dt. Hasil analisa kebutuhan air untuk tanaman ditunjukkan pada tabel 4.24 seperti dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dijelaskan bahwa setiap bulannya dimulai tanam padi dengan luas sawah sebesar X ha. Tanam padi dimulai bulan Nopember dengan luas  $X_1$ , tanam padi dimulai bulan Desember dengan luas  $X_2$ , dan seterusnya hingga 12 bulan. Sedangkan palawija dimulai tanam bulan mei dengan luas  $P_1$ , bulan Juni dengan luas  $P_2$  dan seterusnya hingga  $P_3$ .





Dari hasil perhitungan *Microsoft Excel – solver* tersebut diperoleh solusi optimum sebagai berikut :

- Luas lahan yang dihasilkan :

Tabel 4.25 Luas Hasil Optimasi dengan debit irigasi direkayasa kontinu sepanjang tahun

Luas Lahan	
	ha
X1	1813.2
X2	2366.6
X3	799.9
X4	1057.0
X5	1813.2
X6	2366.6
X7	0.0
X8	0.0
X9	0.0
X10	1332.8
X11	799.9
X12	1057.0
P1	799.9
P2	1057.0
P3	1813.2

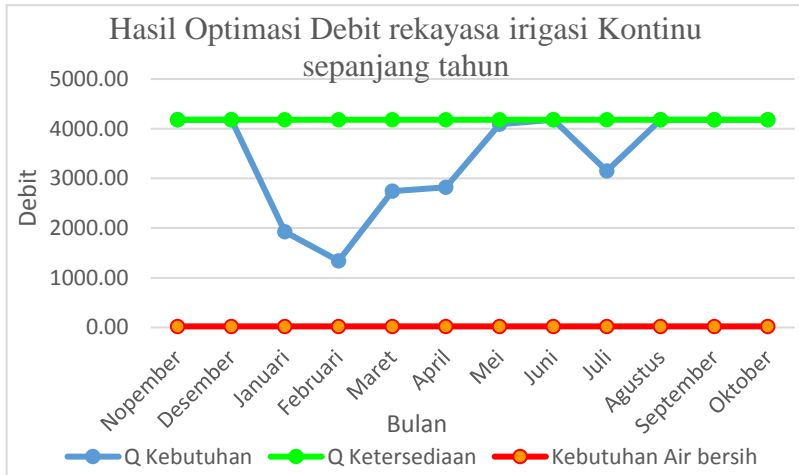
Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan tabel 4.25:

$X_{1-12}$  : Untuk padi pada bulan Nopember s/d Bulan Oktober

$P_{1-3}$  : Untuk palawija pada bulan Mei s/d Bulan Juli

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa tidak ada awal tanam padi pada bulan Mei, Juni dan Juli.



Gambar 4.11 Grafik optimasi dengan debit untuk irigasi direkayasa kontinu sepanjang tahun

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari grafik 4.11 dapat diketahui bahwa pada saat ketersediaan air dibuat kontinu, kebutuhan air tidak melebihi ketersediaan air, namun intensitas tanam yang didapat hanya 283%.

#### 4.6.4 Optimasi Menggunakan Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Sepanjang Tahun dengan Tingkat Pemberian Air Sampai 80%

Dari opsi kedua intensitas tanam yang dihasilkan hanya 283%, maka dari itu ada opsi tiga yang akan meningkatkan intensitas tanam menjadi 300% dengan menggunakan tingkat pemberian air sampai 80% . Besarnya debit kontinu adalah 4180.12 lt/dt.

### Hasil Optimasi Pola Tanam

Dengan mengganti debit andalan 80% dengan debit kontinu sebesar 4180.12 lt/dt. Hasil analisa kebutuhan air untuk tanaman ditunjukkan pada tabel 4.26 seperti dibawah ini. Pada tabel tersebut dapat dijelaskan bahwa setiap bulannya dimulai tanam padi dengan luas sawah sebesar X ha. Tanam padi dimulai bulan Nopember dengan luas X1, tanam padi dimulai bulan Desember dengan luas X2, dan seterusnya hingga 12 bulan. Sedangkan palawija dimulai tanam bulan mei dengan luas P1, bulan Juni dengan luas P2 dan seterusnya hingga P3.

Tabel 4.26 Hasil Optimasi Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Dengan Tingkat Pemberian 80%

6036.663		HASIL OPTIMUM TANAM: 18.109.99 HA. KEBUTUHAN AIR DARI SUMBER INTENSITAS TANAM : 300%											
Max : 18109.99													
Luas Lahan ha													
		November	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Jun	Juli	Agustus	September	Oktober
X1	3034.4	1.70	0.30	0.23	0.00								
X2	0.0		1.14	0.24	0.17	0.09							
X3	628.2			1.02	0.19	0.35	0.00						
X4	2374.1				0.95	0.37	0.12	0.35					
X5	3034.4					1.00	0.13	0.74	0.49				
X6	0.0						0.92		0.76	0.88	0.49		
X7	0.0							1.63	0.89	0.88	0.51		
X8	818.3								1.77	0.90	0.94	0.54	
X9	243.2									1.77	0.96	1.02	0.53
X10	0.0	0.19									1.81	1.04	1.02
X11	628.2	0.44	0.03									1.86	1.05
X12	2374.1	0.46	0.28	0.06				0.34	0.55	0.59	0.64		1.87
P1	628.2								0.44	0.55	0.64		
P2	1555.7												
P3	2791.2												
		November	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Jun	Juli	Agustus	September	Oktober
	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66
	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66	6036.66
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	628.19	2183.91	4975.09	4975.09	4346.90	2791.18
	5225.16	1591.30	1491.31	2346.33	4132.03	672.00	3291.61	3951.26	3614.36	3683.08	3865.13	5228.01	Q Elastisitas (tr/dtk)
	5225.16	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	4180.12	5225.16
	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	Faktor Pembarian
	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	4180.1	Q Anhidan (tr/dtk)
	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	Jml hari dlm Bulan
	13343.6	4262.1	3994.3	5722.2	11067.2	1741.8	8816.2	10241.7	9680.7	9864.8	10018.4	14002.7	Outflow (/10% tr)
	13343.6	17805.7	21800.1	27522.3	38589.5	40331.3	49147.6	59389.2	69069.9	78934.7	88953.1	102958.5	Kumulatif Outflow (ltr)
	10834.9	11196.0	11196.0	10112.6	11196.0	10834.9	11196.0	10834.9	11196.0	11196.0	10834.9	11196.0	Infow (/10% tr)
	10834.9	22030.9	33227.0	43339.5	54535.6	65370.5	76566.5	87401.4	98597.4	109793.5	120638.4	131824.4	Kumulatif Infow (ltr)
	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	55.51	Kebudayaan Air bersih (ltr)
	10779.4	11140.5	11140.5	10067.0	11140.5	10779.4	11140.5	10779.4	11140.5	10779.4	11140.5	10779.4	Infow setelah air bersih (ltr)
	10779.4	21919.9	33060.4	4317.5	54258.0	65037.4	76177.9	86957.3	98097.8	109238.3	120017.7	131158.2	Kom Infow setelah air bersih (ltr)

Dari hasil perhitungan *Microsoft Excel – solver* tabel 4.26 tersebut diperoleh solusi optimum sebagai berikut dengan memilih faktor pemberian, karena intensitas tanam 300%:

- Luas lahan yang dihasilkan :

**Tabel 4.27** Luas Hasil Optimasi debit rekayasa irigasi kontinu dengan tingkat pemberian 80%

Luas Lahan	
	ha
X1	3034.4
X2	0.0
X3	628.2
X4	2374.1
X5	3034.4
X6	0.0
X7	0.0
X8	818.3
X9	243.2
X10	0.0
X11	628.2
X12	2374.1
P1	628.2
P2	1555.7
P3	2791.2

Sumber: Hasil Perhitungan

Keterangan tabel 4.27:

X<sub>1,2,3..</sub> = Untuk Padi pada bulan Nopember s/d Bulan Oktober

P<sub>1,2,3..</sub> = Untuk Palawija pada bulan Mei s/d Bulan Juli

Dari tabel 4.27 dapat diketahui bahwa tidak ada awal tanam padi pada bulan Desember, April, Mei dan Agustus.



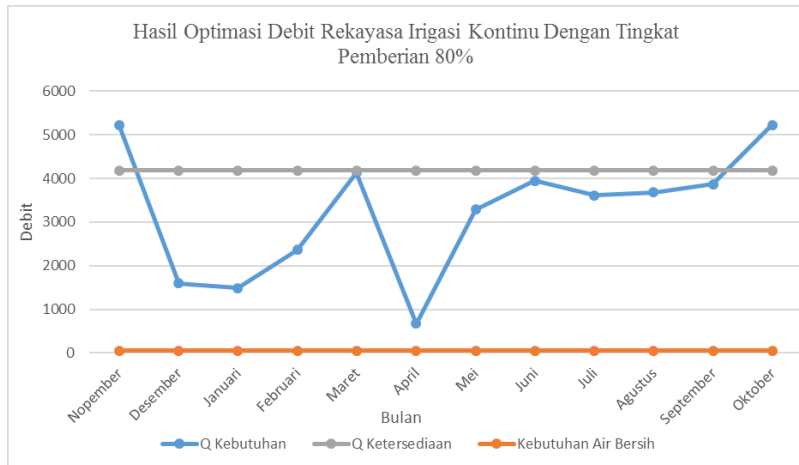
Tabel 4.28 Keterangan Luas Lahan

Luas Lahan Ha	Nama Blok	Tanaman	Awal tanam
3034.42	BLOK 1	Padi 1	Nop
		Padi 2	Maret
		Padi 3	Juli
		Palawija	
628.19	BLOK 2	Padi 1	Januari
		Palawija	Mei
		Padi 2	September
		Padi 1	Februari
2374.05	BLOK 3	Padi 2	Oktober
		Padi 3	Juni
		Palawija	

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil optimasi didapatkan pola tanam yang optimum, seperti tergambar pada gambar 4.12 dan tiap bloknya dapat diketahui pola tanamnya dapat dilihat pada tabel 4.28.

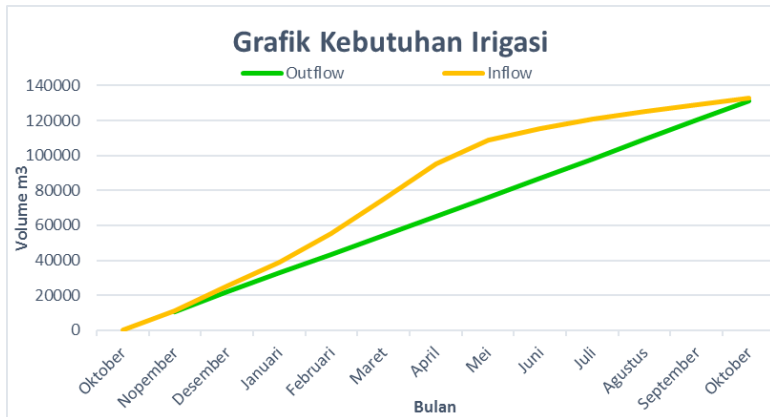




Gambar 4.13 Grafik hasil optimasi debit rekayasa irigasi kontinu dengan tingkat pemberian 80%

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik 4.13 dapat diketahui bahwa ketersediaan air dengan debit kontinu didapatkan kebutuhan air yang melebihi ketersediaan, oleh sebab itu pada bulan-bulan tertentu diberi faktor pemberian seperti pada bulan Nopember yang diberi faktor pemberian sebesar 0.80, dan pada bulan Oktober sebesar 0.80.



Gambar 4.14 Grafik Kebutuhan Irigasi

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari perhitungan Opsi 1 dan Opsi 2 dengan debit kontinu yang sama, didapatkan grafik kebutuhan irigasi seperti dibawah ini :

Berikut penjelasan grafik 4.14. Dapat diketahui bahwa:

Definit positif	= 32.39	jt m <sup>3</sup>
Definit negatifnya	= 0	jt m <sup>3</sup>
Tampungan efektif	= 32.39	jt m <sup>3</sup>
Tampungan mati	= 29.37	jt m <sup>3</sup>
Total tampungan yang dibutuhkan	= 61.76	jt m <sup>3</sup>

Sesuai desain konsultan :

Tamungan efektif	= 38.64	jt m <sup>3</sup>
Tampungan mati	= 29.37	jt m <sup>3</sup>
Total tampungan sesuai desain waduk	= 68.01	jt m <sup>3</sup>

#### 4.6.5 Perhitungan PLTM dengan debit rekayasa irigasi kontinu

Opsi 1 dan Opsi 2 untuk PLTM Waduk Tukul merupakan perencanaan yang dibuat dengan debit yang berasal dari Debit yang konstan setiap tahun. Berikut merupakan perhitungannya :

##### 1. Tinggi jatuh efektif ( $H_{eff}$ )

Tinggi jatuh efektif didapatkan dari selisih antara elevasi dari permukaan air di upstream dan di downstream.

$$\text{Elevasi Upstream} = +192.1$$

$$\text{Elevasi Downstream} = +126.5$$

$$\text{Heff bruto} = \text{Elevasi upstream} - \text{Elevasi Downstream}$$

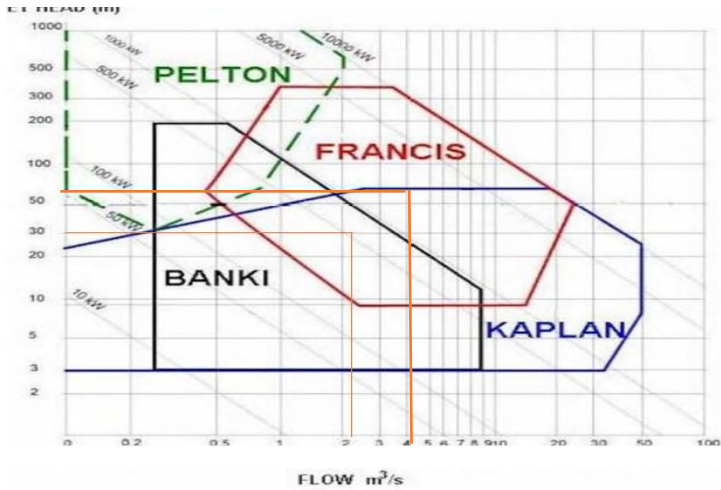
$$\text{Heff bruto} = +192.1 - (+128) = 64.1 \text{ m}$$

$$\text{Heff losses} = 10\% \times \text{Heff bruto} = 0.1 \times 64.1 = 6.41 \text{ m}$$

$$\text{Heff} = \text{Heff buto} - \text{Heff losses} = 64.1 - 6.41 = 57.69 \text{ m}$$

Tekanan maksimum 10% dari Head bruto (patty, 1995)

## 2. Pemilihan jenis turbin

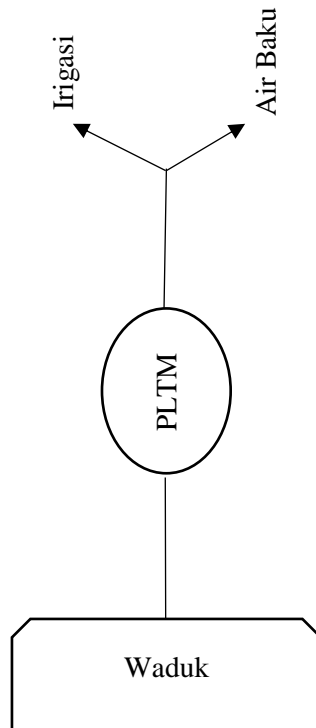


Gambar 4.15 Grafik Pemilihan Turbin dengan debit rekayasa irigasi kontinu

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.15 turbin yang dipilih dengan tinggi efektif 57.69 m dan besar debit kontinu 4.20  $m^3/dt$  adalah turbin francis, dengan efisiensi 0.83.

### 3. Skema Alur Pemanfaatan Air Waduk



Gambar 4.16 Skema Alur Pemanfaatan air

Dari gambar 4.16 diatas dapat diartikan bahwa air dari waduk tukul masuk ke PLTM terlebih dahulu kemudian kembali lagi ke sungai, selanjutnya dimanfaatkan untuk kebutuhan irigasi dan air baku. Debit yang dipakai dalam PLTM merupakan hasil dari jumlah kebutuhan air irigasi secara kontinu dan air baku, sehingga menghasilkan daya listrik yang konstan.

#### 4. Daya pada PLTM

Tabel 4.29 Perhitungan PLTM dengan debit irigasi direkayasa kontinu

Bulan	g m/s <sup>2</sup>	efisiensi	Q m <sup>3</sup> /s	H m	P kW	P MW	Energi MWh
1	2	3	4	5	6	7	8
Nopember	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1419.534
Desember	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
Januari	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
Februari	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1324.899
Maret	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
April	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1419.534
Mei	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
Juni	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1419.534
Juli	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
Agustus	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
September	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1419.534
Oktober	9.80	0.830	4.202	57.69	1971.575	1.972	1466.852
Total							17271.000

Sumber: Hasil Perhitungan

Penjelasan dari tabel 4.29 perhitungan PLTM

Waduk Tukul dengan debit kontinu sebagai berikut :

Kolom 1 : Bulan Nopember sampai oktober

Kolom 2 : Percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

Kolom 3 : Effisiensi turbin Franchis (0.8-0.9)

Kolom 4 : Debit rencana ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

Kolom 5 : Tinggi jatuhan atau head (m)

Kolom 6 : Daya yang dihasilkan (kW)

Kolom 7 : Daya yang dihasilkan (MW)

Kolom 8 : Energi yang dihasilkan (MWh)

Contoh perhitungan pada Bulan Nopember

Hitungan Daya:

$$P = \text{Eff. Turbin} \times 9.8 \times Q \times H \quad (\text{Kilo watt})$$

$$P = 0.83 \times 9.8 \times 4.20 \text{ m}^3/\text{s} \times 57.69 \text{ m}$$

$$P = 1971.58 \text{ Kw}$$

$$P = 1.972 \text{ MW}$$

Hitungan Energi :

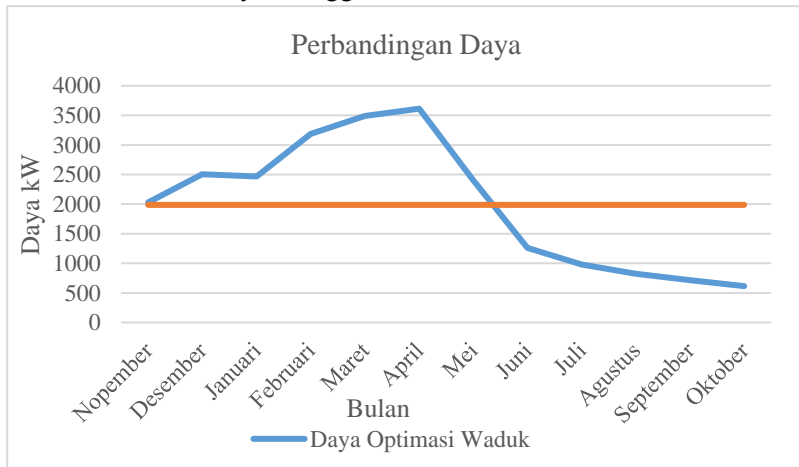
$$E = P \times t$$

$$E = 1.972 \text{ MW} \times (24 \times 31)$$

$$E = 1419.53 \text{ MWh}$$

Sehingga dengan debit kontinu menghasilkan daya dan energi maksimal mencapai 1.972 MW dan 1466.85 MWh. Energi dalam setahun sebesar 17271.00 MWh.

Grafik perbandingan antara daya menggunakan debit andalan dan daya menggunakan debit kontinu



Gambar 4.17 Perbandingan Daya

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari grafik 4.16 dapat disimpulkan bahwa pada saat menggunakan debit andalan daya yang dihasilkan naik turun atau fluktuatif dimana kebutuhan akan listrik terus menerus, sehingga direncanakan debit kontinu sepanjang tahun untuk memenuhi kebutuhan.

#### 4.6.6 Rekapitulasi Tiga Alternatif Perhitungan Optimasi

Dari ketiga perhitungan diatas yang meliputi perhitungan optimasi menggunakan debit sesuai dengan kebutuhan air, optimasi dengan rekayasa konstan sepanjang tahun dan optimasi dengan debit rekayasa konstan sepanjang tahun dengan pemberian air 80%. Didapatkan beberapa hasil sebagai berikut :

Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Tiga Alternatif

	Debit Pembangkitan PLTM		
	Debit Sesuai Dengan Kebutuhan Air Optimum	Debit Direkayasa Konstan Sepanjang Tahun	Debit Direkayasa Konstan Sepanjang Tahun*
Intensitas Tanam	300%	283%	300%
Air Baku	21847 Jiwa	21847 Jiwa	21847 Jiwa
PLTM	17277.867 MWh	17271 MWh	17271 MWh
Kelebihan dan Kekurangan	Intensitas Tanam		
	Intensitas Tanam	yang dihasilkan	Intensitas tanam
	300% , tetapi daya yang dihasilkan PLTM fluktuatif tiap bulan.	hanya 283% , daya yang dihasilkan PLTM kontinu setiap bulan.	300% , daya yang dihasilkan PLTM kontinu setiap bulan

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari tabel 4.30 diatas dapat dilihat ada 3 opsi, opsi pertama optimasi menggunakan debit sesuai dengan kebutuhan air optimum didapatkan intensitas tanam 300% akan tetapi debit untuk pembangkitan masih fluktuatif yang dapat memengaruhi daya PLTM. Opsi kedua yaitu dengan rekayasa konstan sepanjang tahun didapat intensitas tanam hanya 238% dan debit yang dihasilkan PLTM kontinu setiap bulannya, karena intensitas tanam opsi kedua hanya 238% maka ada opsi ketiga yaitu

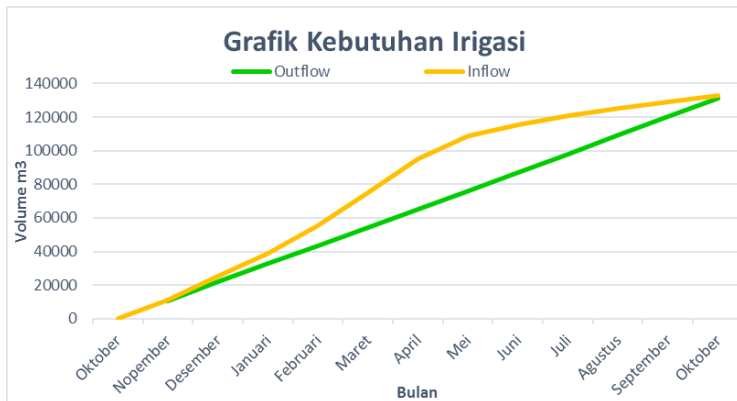


debit rekayasa sepanjang tahun yang pada bulan tertentu dapat disediakan air untuk irigasi sebesar 80%, intensitas tanam yang dihasilkan 300% dan debit untuk pembangkitan PLTM kontinu setiap bulannya. Dari ketiga opsi diatas maka opsi yang disarankan adalah opsi ketiga yaitu Debit direkayasa konstan sepanjang tahun\* dikarenakan intensitas tanam yang mencapai 300% serta daya yang dihasilkan konstan setiap bulannya untuk memenuhi kebutuhan listrik.

\* Pada bulan tertentu dapat disediakan air untuk irigasi 80%

#### 4.6.7 Operasional Waduk

Dari pemilihan perhitungan optimasi dengan debit direkayasa konstan sepanjang tahun dengan tingkat pemberian air 80% dapat diketahui oprasional dari Waduk Tukul pacitan tiap bulan selama satu tahun.



Gambar 4.18 Kebutuhan air irigasi  
Sumber: Hasil Perhitungan

Grafik 4.18 menggambarkan tampungan dari waduk tukul setelah optimasi dengan debit kontinu menggunakan faktor pemberian, dapat dilihat bahwa setiap bulan ada volume yang harus ditampung, maka dari itu diperlukan untuk melihat kurva tampungan agar diketahui elevasi dan luas genangannya. Dihitunglah Dari Tabel 4.31 dapat diketahui oprasional dari waduk Tukul dilihat dari garfik tampungan Waduk Tukul.

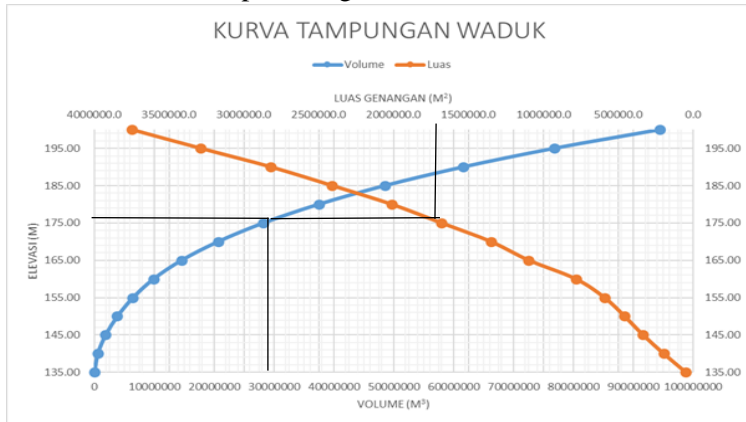
Tabel 4.31 Operasional Waduk Berdasarkan Debit Rekayasa Irigasi Kontinu Dengan Tingkat Pemberian 80%

Operasional	Volume		Volume Total ( $10^6$ $m^3$ )	Elevasi (m)	Luas Genangan ( $m^2$ )	Luas Genangan (ha)
	Volume $10^6 m^3$	Dead Storage $10^6 m^3$				
Nopember	0.28	29.37	29.65	175.76	1732110	173.211
Desember	3.28	29.37	32.65	177.38	1851672	185.17
Januari	6.07	29.37	35.44	178.90	1945927	194.59
Februari	12.30	29.37	41.67	181.90	2165099	216.51
Maret	20.92	29.37	50.29	185.68	2466696	246.67
April	29.96	29.37	59.33	189.13	2772429	277.24
Mei	32.39	29.37	61.76	190.06	2826669	282.67
Juni	28.44	29.37	57.81	188.55	2720992	272.10
Juli	22.75	29.37	52.12	186.37	2528393	252.84
Agustus	16.15	29.37	45.52	183.64	2303146	230.31
September	9.17	29.37	38.54	180.48	2052838	205.28
Oktober	1.39	29.37	30.76	176.36	1776656	177.67

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.31 menunjukkan oprasional Waduk Tukul selama satu tahun, oprasional ini digunakan untuk mengetahui tampungan, elevasi, dan luas genangan selama oprasional Waduk Tukul. Tabel diatas dapat dihitung menggunakan kurva

tampungan, dimana volume ditambah dengan dead storage sama dengan volume total, dari volume total dapat dilihat elevasi dan luas genangannya. Contoh perhitungan:



Gambar 4.19 Kurva Tampungan Waduk

Sumber: Hasil Perhitungan

Contoh perhitungan tabel 4.31 adalah sebagai berikut:

Contoh pada bulan nopember

$$\text{Volume} = 0.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Dead Storage} = 29.37 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume total} = \text{volume} + \text{dead storage}$$

$$= 0.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3 + 29.37 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$= 29.65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Dari volume total ditarik garis pada grafik 4.18 dapat diketahui elevasi dan luas genangan. Volume total  $29.65 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  menghasilkan elevasi +175.76 dan luas genangan 1732110 m<sup>2</sup>. Dan seterusnya sampai 12 bulan. Didapatlah oprasional waduk tukul selama 1 tahun.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai rencana operasi PLTM pada Waduk Tukul Pacitan adalah sebagai berikut

1. a. Kebutuhan air baku Setelah dilakukan perhitungan adalah 21,417 lt/dt  
b. Kebutuhan untuk tanaman irigasi maksimum adalah pada bulan Nopember sebesar 5,07 lt/dt dan minimum 0,7 lt/dt pada bulan Januari.  
c. Kapasitas tampungan waduk yang di dapatkan dari hasil optimasi menggunakan debit andalan 88,67 jt m<sup>3</sup> sedangkan kapasitas tampungan saat debit kontinu adalah 61,76 jt m<sup>3</sup>.
2. Terhadap 3 opsi dihasilkan opsi pertama optimasi menggunakan debit sesuai dengan kebutuhan air optimum didapatkan intensitas tanam sebesar 300% akan tetapi daya untuk pembangkitan yang fluktuatif yang dapat memengaruhi listrik yang dihasilkan, opsi kedua yaitu optimasi dengan Debit direkayasa konstan sepanjang tahun dimana intensitas tanam yang didapat hanya 286%, dan opsi ketiga yaitu optimasi dengan debit direkayasa konstan sepanjang tahun dengan air yang disediakan untuk irigasi 80% dimana intensitas tanam yang dihasilkan 300% dan debit yang digunakan untuk pembangkitan yang terus menerus sama setiap bulannya. Dari ketiga opsi diatas maka Optimasi yang disarankan adalah opsi ketiga.
3. Dengan dipilihnya opsi ketiga maka daya PLTM yang dihasilkan adalah sebesar 23,85 MW dan Energi sebesar 17.271 MWh.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan tugas akhir, maka penulis merekomendasikan berupa saran – saran sebagai berikut :

1. Perlu direncanakan jaringan irigasi yang memenuhi luas lahan sesuai hasil perhitungan yang mencapai 6037 ha.
2. PLTM dapat ditingkatkan dayanya menjadi lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, Tanjung. 2016. Tugas Akhir **Studi Optimasi Pemanfaatan Air Waduk Tugu**. Surabaya: Teknik Sipil ITS.
- Badan Pusat Statistik Pacitan. 2008-2016. **Pacitan Dalam Angka**. Pacitan: Badan Pusat Statistik Pacitan.
- Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2007-2016. **Data Hujan Stasiun Nawangan**. Pacitan: Dinas Pekerjaan Umum Pacitan.
- Dinas Pekerjaan Umum Pengairan Pacitan, 2014-2016. **Data Klimatologi**. Pacitan: Dinas Pekerjaan Umum Pacitan.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 2007. **Buku Panduan Pengembangan Air Minum**. Jakarta: Ditjen Cipta Karya.
- Direktorat Jendral Pengairan. 1986. **Standart Perencanaan Irigasi (KP-01)**. Bandung: Departement Pekerjaan Umum CV. Galang Persada.
- Hadisusanto, Nugroho. 2010. **Aplikasi Hidrologi**. Malang: Jogja Mediautama.
- Harto, Sri. 1993. **Analisis Hidrologi**. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Pratama, Sezar Yudo. **Studi Optimasi Operasional Waduk Sengguruh Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air**. <<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-16503-3106100095-Paper.pdf>> (di akses tanggal 14 November 2016 23:00 WIB)
- Pruitt, W.O. dan Doorenbos, J. 1977. **Guidelines For Predicting Crop Water Requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization.
- PT. Brantas Abipraya. 2012. **Laporan Akhir Waduk Tukul Pacitan**. Sukoharjo: PT. Brantas Abipraya.
- Rochmah, Reski Handarwati Nur. 2009. Tugas Akhir **Studi Water Balance Waduk Kedung Brubus dan Waduk Notopuro Untuk Pemanfaatan Air Baku dan Irigasi**. Surabaya: Teknik Sipil ITS.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. **Hidrologi Terapan**. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta.

Wiyono, Agung. 2000. **Catatan Kuliah Pengembangan Sumber Daya Air**. Bandung: Departemen Teknik Sipil ITB.



## **LAMPIRAN**

## Tabel tabel yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi

Tabel hubungan tekanan uap jenuh (ea) dalam mbar dan suhu rata-rata dalam °C

Temperature °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea mbar	6.1	6.6	7.1	7.6	8.1	8.7	9.3	10.0	10.7	11.5	12.3	13.1	14.0	15.0	16.1	17.0	18.2	19.4	20.6	22.0

Temperature °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
ea mbar	23.4	24.9	26.4	28.1	29.8	31.7	33.6	35.7	37.8	40.1	42.4	44.9	47.6	50.3	53.2	56.2	59.4	62.8	66.3	69.9

Sumber : *Engineering Hidrology*

## Tabel Faktor Pembobotan (1-W)

Temperature °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
(1-W) at altitude m																				
0	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.17	0.16	0.15
500	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.40	0.38	0.35	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14
1000	0.54	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14	0.13
2000	0.51	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12
3000	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11
4000	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10

Sumber : *Engineering Hidrology*

## Tabel Faktor Pembobotan (W)

Temperature °C	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W at altitude m																				
0	0.43	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.78	.80	.82	.83	.84	.85
500	.44	.48	.51	.54	.57	.60	.62	.65	.67	.70	.72	.74	.76	.78	.79	.81	.82	.84	.85	.86
1000	.46	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.85	.86	.87
2000	.49	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88
3000	.52	.55	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88	.89
4000	.54	.58	.61	.64	.66	.69	.71	.73	.75	.77	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.89	.90	.90

Sumber : *Engineering Hidrology*

Tabel Hubungan radiasi ekstra tereksterial (ra) dan koordinat lokasi

Northern Hemisphere												Southern Hemisphere												
Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Lat	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50°	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7	48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.8	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	11.6	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7	6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1	4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Sumber : Engineering Hidrology

Tabel fungsi suhu (*effect of temperature on longwave radiation*)

T °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
f(t)	11.0	11.4	11.7	12.0	12.4	12.7	13.1	13.5	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.2	17.7	18.1

Sumber : *Engineering Hidrology*

Tabel Fungsi Penyinaran Matahari

n/N	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0
f(n/N)=0.1+0.9 n/N	0.10	0.15	0.19	0.24	0.28	0.33	0.37	0.42	0.46	0.51	0.55	0.60	0.64	0.69	0.73	0.78	0.82	0.87	0.91	0.96	1.0

Sumber : *Engineering Hidrology*

Lampiran 6 Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Nopember

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi	P	WLR	Koefisien Tanaman				Etc	NFR	DR	Re Pal	P	Koefisien Tanaman				Etc	NFR	DR	
			(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)	
Januari	I	1.85	6.51	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.94	-0.91	0.00	4.65	2								
	II	1.85	1.61	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.88	3.93	0.70	1.15	2								
	III	1.85	5.67	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.82	-0.19	0.00	4.05	2								
Pebruari	I	1.91	6.93	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.21	-2.89	0.00	4.95	2								
	II	1.91	4.41	2	0		0	0.95	0.48	0.91	-1.50	0.00	3.15	2								
	III	1.91	3.85	2	0			0	0	0.00	-1.85	0.00	2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2									2.10	2								
	II	1.74	2.03	2									1.45	2								
	III	1.74	8.89	2									6.35	2								
April	I	1.40	5.32	2									3.80	2								
	II	1.40	6.3	2									4.50	2								
	III	1.40	3.01	2									2.15	2								
Mei	I	1.31	1.61	2									1.15	2	0.5	0	0	0.17	0.22	1.07	0.19	
	II	1.31	0.84	2									0.60	2	0.59	0.5	0	0.36	0.48	1.88	0.33	
	III	1.31	0	2									0	2	0.59	0.59	0.5	0.56	0.74	2.74	0.49	
Juni	I	1.25	0	2									0	2	0.96	0.59	0.59	0.71	0.89	2.89	0.51	
	II	1.25	0	2									0	2	1.05	0.96	0.59	0.87	1.08	3.08	0.55	
	III	1.25	0	2									0	2	1.05	1.05	0.96	1.02	1.28	3.28	0.58	
Juli	I	1.27	0	2									0	2	1.02	1.05	1.05	1.04	1.32	3.32	0.59	
	II	1.27	0	2									0	2	1.02	1.02	1.05	1.03	1.31	3.31	0.59	
	III	1.27	0	2									0	2	0.95	0.95	1.02	0.97	1.24	3.24	0.58	
Agustus	I	1.59	0	2									0	2	0	0.95	0.95	0.63	1.01	3.01	0.54	
	II	1.59	0	2									0	2	0	0	0.95	0.32	0.50	2.50	0.45	
	III	1.59	0	2									0	2	0	0	0	0.00	0.00	2.00	0.36	
September	I	2.01	0	2									0	2								
	II	2.01	0	2									0	2								
	III	2.01	0	2									0	2								
Oktober	I	2.12	0	2									0	2								
	II	2.12	0	2									0	2								
	III	2.12	0.21	2									0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2	0 LP	LP	LP	LP		10.36	11.59	2.06	0.55	2								
	II	1.89	4.13	2	0	1.1 LP	LP	LP		10.36	8.23	1.47	2.95	2								
	III	1.89	4.41	2	0.83	1.1	1.1 LP	LP		10.36	8.78	1.56	3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.93	2.02	0.36	2.55	2								
	II	1.75	2.73	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.90	2.83	0.50	1.95	2								
	III	1.75	5.32	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.87	0.21	0.04	3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Desember

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (mm/hari)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (mm/hari)	
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						Kc1	Kc2	Kc3	Kc				
Januari	I	1.85	6.51	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	2.03	-0.82	0.00	4.65	2								
	II	1.85	1.61	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	2.00	4.05	0.72	1.15	2								
	III	1.85	5.67	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.97	-0.04	0.00	4.05	2								
Pebruari	I	1.91	6.93	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	2.00	-1.27	0.00	4.95	2								
	II	1.91	4.41	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.94	1.19	0.21	3.15	2								
	III	1.91	3.85	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.88	1.69	0.30	2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.10	0.99	0.18	2.10	2								
	II	1.74	2.03	2	0	0	0	0.95	0.32	0.55	0.52	0.09	1.45	2								
	III	1.74	8.89	2	0			0	0	0.00	-6.89	0.00	6.35	2								
April	I	1.40	5.32	2									3.80	2								
	II	1.40	6.30	2									4.50	2								
	III	1.40	3.01	2									2.15	2								
Mei	I	1.31	1.61	2									1.15	2								
	II	1.31	0.84	2									0.60	2								
	III	1.31	0	2									0	2								
Juni	I	1.25	0	2									0	2	0.5	0	0	0.17	0.21	2.21	0.39	
	II	1.25	0	2									0	2	0.59	0.5	0	0.36	0.45	2.45	0.44	
	III	1.25	0	2									0	2	0.59	0.59	0.5	0.56	0.70	2.70	0.48	
Juli	I	1.27	0	2									0	2	0.96	0.59	0.59	0.71	0.91	2.91	0.52	
	II	1.27	0	2									0	2	1.05	0.96	0.59	0.87	1.10	3.10	0.55	
	III	1.27	0	2									0	2	1.05	1.05	0.96	1.02	1.30	3.30	0.59	
Agustus	I	1.59	0	2									0	2	1.02	1.05	1.05	1.04	1.66	3.66	0.65	
	II	1.59	0	2									0	2	1.02	1.02	1.05	1.03	1.64	3.64	0.65	
	III	1.59	0	2									0	2	0.95	0.95	1.02	0.97	1.55	3.55	0.63	
September	I	2.01	0	2									0	2	0	0.95	0.95	0.63	1.27	3.27	0.58	
	II	2.01	0	2									0	2	0	0	0.95	0.32	0.64	2.64	0.47	
	III	2.01	0	2									0	2	0	0	0	0.00	0.00	2.00	0.36	
Oktober	I	2.12	0	2									0	2								
	II	2.12	0	2									0	2								
	III	2.12	0.21	2									0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2								
	II	1.89	4.13	2									2.95	2								
	III	1.89	4.41	2									3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2	0 LP	LP	LP	LP	LP	10.26	6.69	1.19	2.55	2								
	II	1.75	2.73	2	0	1.1 LP	LP	LP	LP	10.26	7.53	1.34	1.95	2								
	III	1.75	5.32	2	0.83	1.1	1.1 LP	LP	LP	10.26	4.94	0.88	3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Januari

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi											Tanaman Palawija										
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)			
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						
Januari	I	1.85	6.51	2	0	LP	LP	LP	LP	10.32	3.81	0.68	4.65	2										
	II	1.85	1.61	2	0		1.1	LP	LP	LP	10.32	8.71	1.55	1.15	2									
	III	1.85	5.67	2	0.83		1.1		1.1	LP	10.32	4.65	0.83	4.05	2									
Pebruari	I	1.91	6.93	2	1.66		1.1		1.1		1.10	2.10	-1.17	0.00	4.95	2								
	II	1.91	4.41	2	1.66		1.05		1.1		1.08	2.07	1.32	0.23	3.15	2								
	III	1.91	3.85	2	1.66		1.05		1.05		1.1	1.07	1.84	0.33	2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2	1.66		1.05		1.05		1.05	1.83	2.55	0.45	2.10	2								
	II	1.74	2.03	2	1.66		0.95		1.05		1.05	1.02	1.77	3.40	0.61	1.45	2							
	III	1.74	8.89	2	1.66		0.95		0.95		1.05	0.98	1.71	-3.52	0.00	6.35	2							
April	I	1.40	5.32	2	0.83		0		0.95		0.95	0.63	0.89	-1.60	0.00	3.80	2							
	II	1.40	6.30	2	0				0		0.95	0.48	0.67	-3.63	0.00	4.50	2							
	III	1.40	3.01	2	0						0	0	0.00	-1.01	0.00	2.15	2							
Mei	I	1.31	1.61	2											1.15	2								
	II	1.31	0.84	2											0.60	2								
	III	1.31	0	2											0.00	2								
Juni	I	1.25	0	2											0.00	2								
	II	1.25	0	2											0.00	2								
	III	1.25	0	2											0.00	2								
Juli	I	1.27	0	2											0.00	2	0.5	0	0	0.17	0.21	2.21	0.39	
	II	1.27	0	2											0.00	2	0.59	0.5	0	0.36	0.46	2.46	0.44	
	III	1.27	0	2											0.00	2	0.59	0.59	0.5	0.56	0.71	2.71	0.48	
Agustus	I	1.59	0	2											0.00	2	0.96	0.59	0.59	0.71	1.14	3.14	0.56	
	II	1.59	0	2											0.00	2	1.05	0.96	0.59	0.87	1.38	3.38	0.60	
	III	1.59	0	2											0.00	2	1.05	1.05	0.96	1.02	1.62	3.62	0.65	
September	I	2.01	0	2											0.00	2	1.02	1.05	1.05	1.04	2.09	4.09	0.73	
	II	2.01	0	2											0.00	2	1.02	1.02	1.05	1.03	2.07	4.07	0.72	
	III	2.01	0	2											0.00	2	0.95	0.95	1.02	0.97	1.96	3.96	0.70	
Oktober	I	2.12	0	2											0.00	2	0	0.95	0.95	0.63	1.35	3.35	0.60	
	II	2.12	0	2											0.00	2	0	0	0.95	0.32	0.67	2.67	0.48	
	III	2.12	0.21	2											0.15	2	0	0	0	0.00	0.00	1.85	0.33	
Nopenber	I	1.89	0.77	2											0.55	2								
	II	1.89	4.13	2											2.95	2								
	III	1.89	4.41	2											3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2											2.55	2								
	II	1.75	2.73	2											1.95	2								
	III	1.75	5.32	2											3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Februari

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi											Tanaman Palawija										
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)			
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						
Januari	I	1.85	6.51	2									0.00	2										
	II	1.85	1.61	2									0.00	2										
	III	1.85	5.67	2									0.00	2										
Februari	I	1.91	6.93	2	0 LP	LP	LP	LP	LP	10.38	3.45	0.61	0.00	2										
	II	1.91	4.41	2	0	1.1 LP	LP	LP	LP	10.38	5.97	1.06	0.00	2										
	III	1.91	3.85	2	0.83	1.1	1.1 LP	LP	LP	10.38	6.53	1.16	0.00	2										
Maret	I	1.74	2.94	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.92	2.64	0.47	0.00	2										
	II	1.74	2.03	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.89	3.52	0.63	0.00	2										
	III	1.74	8.89	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.86	-3.37	0.00	0.00	2										
April	I	1.40	5.32	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.47	-0.19	0.00	0.00	2										
	II	1.40	6.30	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.42	-1.22	0.00	0.00	2										
	III	1.40	3.01	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.38	2.03	0.36	0.00	2										
Mei	I	1.31	1.61	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	0.83	2.05	0.37	0.00	2										
	II	1.31	0.84	2	0		0	0.95	0.48	0.62	1.78	0.32	0.00	2										
	III	1.31	0	2	0			0	0	0.00	2.00	0.36	0	2										
Juni	I	1.25	0	2									0	2										
	II	1.25	0	2									0	2										
	III	1.25	0	2									0	2										
Juli	I	1.27	0	2									0	2										
	II	1.27	0	2									0	2										
	III	1.27	0	2									0	2										
Agustus	I	1.59	0	2									0	2										
	II	1.59	0	2									0	2										
	III	1.59	0	2									0	2										
September	I	2.01	0	2									0	2										
	II	2.01	0	2									0	2										
	III	2.01	0	2									0	2										
Oktober	I	2.12	0	2									0	2										
	II	2.12	0	2									0	2										
	III	2.12	0.21	2									0.15	2										
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2										
	II	1.89	4.13	2									2.95	2										
	III	1.89	4.41	2									3.15	2										
Desember	I	1.75	3.57	2									0.00	2										
	II	1.75	2.73	2									0.00	2										
	III	1.75	5.32	2									0.00	2										



Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Maret

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				EtC (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman				EtC (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc							Kc1	Kc2	Kc3	Kc			
Januari	I	1.85	6.51	2									4.65	2								
	II	1.85	1.61	2									1.15	2								
	III	1.85	5.67	2									4.05	2								
Pebruari	I	1.91	6.93	2									4.95	2								
	II	1.91	4.41	2									3.15	2								
	III	1.91	3.85	2									2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2	0	LP	LP	LP	LP	10.25	7.31	1.30	2.10	2								
	II	1.74	2.03	2	0	1.1	LP	LP	LP	10.25	8.22	1.46	1.45	2								
	III	1.74	8.89	2	0.83	1.1	1.1	LP	LP	10.25	1.36	0.24	6.35	2								
April	I	1.40	5.32	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.54	-0.12	0.00	3.80	2								
	II	1.40	6.30	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.52	-1.12	0.00	4.50	2								
	III	1.40	3.01	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.49	2.14	0.38	2.15	2								
Mei	I	1.31	1.61	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.38	3.43	0.61	1.15	2								
	II	1.31	0.84	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.33	4.15	0.74	0.60	2								
	III	1.31	0.00	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.29	4.95	0.88	0.00	2								
Juni	I	1.25	0.00	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	0.79	3.62	0.64	0.00	2								
	II	1.25	0.00	2	0		0	0.95	0.48	0.59	2.59	0.46	0.00	2								
	III	1.25	0.00	2	0			0	0	0.00	2.00	0.36	0.00	2								
Juli	I	1.27	0.00	2									0.00	2								
	II	1.27	0.00	2									0.00	2								
	III	1.27	0.00	2									0.00	2								
Agustus	I	1.59	0.00	2									0.00	2								
	II	1.59	0.00	2									0.00	2								
	III	1.59	0.00	2									0.00	2								
September	I	2.01	0.00	2									0.00	2								
	II	2.01	0.00	2									0.00	2								
	III	2.01	0.00	2									0.00	2								
Oktober	I	2.12	0.00	2									0.00	2								
	II	2.12	0.00	2									0.00	2								
	III	2.12	0.21	2									0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2								
	II	1.89	4.13	2									2.95	2								
	III	1.89	4.41	2									3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2									2.55	2								
	II	1.75	2.73	2									1.95	2								
	III	1.75	5.32	2									3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan April

Bulan	Periode	E <sub>0</sub> (mm/hari)	Tanaman Padi											Tanaman Palawija										
			Re Padi	P	WLR	Koefisien Tanaman				E <sub>c</sub>	NFR	DR	Re Pal	P	Koefisien Tanaman				E <sub>c</sub>	NFR	DR	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)
			(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)			
Januari	I	1.85	6.51	2									4.65	2										
	II	1.85	1.61	2									1.15	2										
	III	1.85	5.67	2									4.05	2										
Pebruari	I	1.91	6.93	2									4.95	2										
	II	1.91	4.41	2									3.15	2										
	III	1.91	3.85	2									2.75	2										
Maret	I	1.74	2.94	2									2.10	2										
	II	1.74	2.03	2									1.45	2										
	III	1.74	8.89	2									6.35	2										
April	I	1.40	5.32	2	0	LP	LP	LP	LP	10.02	4.70	0.84	3.80	2										
	II	1.40	6.30	2	0	1.1	LP	LP	LP	10.02	3.72	0.66	4.50	2										
	III	1.40	3.01	2	0.83	1.1	1.1	LP	LP	10.02	7.01	1.25	2.15	2										
Mei	I	1.31	1.61	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.44	3.49	0.62	1.15	2										
	II	1.31	0.84	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.42	4.24	0.76	0.60	2										
	III	1.31	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.40	5.06	0.90	0.00	2										
Juni	I	1.25	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.31	4.97	0.89	0.00	2										
	II	1.25	0.00	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.27	4.93	0.88	0.00	2										
	III	1.25	0.00	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.23	4.89	0.87	0.00	2										
Juli	I	1.27	0.00	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	0.80	3.63	0.65	0.00	2										
	II	1.27	0.00	2	0		0	0.95	0.48	0.60	2.60	0.46	0.00	2										
	III	1.27	0.00	2	0			0	0	0.00	2.00	0.36	0.00	2										
Agustus	I	1.59	0.00	2									0.00	2										
	II	1.59	0.00	2									0.00	2										
	III	1.59	0.00	2									0.00	2										
September	I	2.01	0.00	2									0.00	2										
	II	2.01	0.00	2									0.00	2										
	III	2.01	0.00	2									0.00	2										
Oktober	I	2.12	0.00	2									0.00	2										
	II	2.12	0.00	2									0.00	2										
	III	2.12	0.21	2									0.15	2										
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2										
	II	1.89	4.13	2									2.95	2										
	III	1.89	4.41	2									3.15	2										
Desember	I	1.75	3.57	2									2.55	2										
	II	1.75	2.73	2									1.95	2										
	III	1.75	5.32	2									3.80	2										

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Mei

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman			Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)		
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						Kc1	Kc2	Kc3				Kc	
Januari	I	1.85	6.51	2									4.65	2								
	II	1.85	1.61	2									1.15	2								
	III	1.85	5.67	2									4.05	2								
Pebruari	I	1.91	6.93	2									4.95	2								
	II	1.91	4.41	2									3.15	2								
	III	1.91	3.85	2									2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2									2.10	2								
	II	1.74	2.03	2									1.45	2								
	III	1.74	8.89	2									6.35	2								
April	I	1.40	5.32	2									3.80	2								
	II	1.40	6.30	2									4.50	2								
	III	1.40	3.01	2									2.15	2								
Mei	I	1.31	1.61	2	0	LP	LP	LP	LP	9.96	8.35	1.49	1.15	2								
	II	1.31	0.84	2	0	1.1	LP	LP	LP	9.96	9.12	1.62	0.60	2								
	III	1.31	0.00	2	0.83	1.1	1.1	LP	LP	9.96	9.96	1.77	0.00	2								
Juni	I	1.25	0.00	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.38	5.04	0.90	0.00	2								
	II	1.25	0.00	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.35	5.01	0.89	0.00	2								
	III	1.25	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.33	4.99	0.89	0.00	2								
Juli	I	1.27	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.33	4.99	0.89	0.00	2								
	II	1.27	0.00	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.29	4.95	0.88	0.00	2								
	III	1.27	0.00	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.25	4.91	0.87	0.00	2								
Agustus	I	1.59	0.00	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.01	3.84	0.68	0.00	2								
	II	1.59	0.00	2	0		0	0.95	0.48	0.76	2.76	0.49	0.00	2								
	III	1.59	0.00	2	0			0	0	0.00	2.00	0.36	0.00	2								
September	I	2.01	0.00	2									0.00	2								
	II	2.01	0.00	2									0.00	2								
	III	2.01	0.00	2									0.00	2								
Oktober	I	2.12	0.00	2									0.00	2								
	II	2.12	0.00	2									0.00	2								
	III	2.12	0.21	2									0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2								
	II	1.89	4.13	2									2.95	2								
	III	1.89	4.41	2									3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2									2.55	2								
	II	1.75	2.73	2									1.95	2								
	III	1.75	5.32	2									3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Juni

Bulan	Periode	E0	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi	P	WLR	Koefisien Tanaman				Etc	NFR	DR	Re Pal	P	Koefisien Tanaman				Etc	NFR	DR	
			(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)	
Januari	I	1.85	6.51	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.17	-2.51	0.00	4.65	2								
	II	1.85	1.61	2	0		0	0.95	0.48	0.88	1.27	0.00	1.15	2								
	III	1.85	5.67	2	0			0	0.00	0.00	-3.67	0.00	4.05	2								
Pebruari	I	1.91	6.93	2									4.95	2								
	II	1.91	4.41	2									3.15	2								
	III	1.91	3.85	2									2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2									2.10	2								
	II	1.74	2.03	2									1.45	2								
	III	1.74	8.89	2									6.35	2								
April	I	1.40	5.32	2									3.80	2								
	II	1.40	6.30	2									4.50	2								
	III	1.40	3.01	2									2.15	2								
Mei	I	1.31	1.61	2									1.15	2								
	II	1.31	0.84	2									0.60	2								
	III	1.31	0.00	2									0.00	2								
Juni	I	1.25	0.00	2	0 LP	LP	LP	LP		9.93	9.93	1.77	0.00	2								
	II	1.25	0.00	2	0	1.1 LP	LP	LP		9.93	9.93	1.77	0.00	2								
	III	1.25	0.00	2	0.83	1.1	1.1 LP	LP		9.93	9.93	1.77	0.00	2								
Juli	I	1.27	0.00	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.40	5.06	0.90	0.00	2								
	II	1.27	0.00	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.38	5.04	0.90	0.00	2								
	III	1.27	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.35	5.01	0.89	0.00	2								
Agustus	I	1.59	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.67	5.33	0.95	0.00	2								
	II	1.59	0.00	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.62	5.28	0.94	0.00	2								
	III	1.59	0.00	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.56	5.22	0.93	0.00	2								
September	I	2.01	0.00	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.27	4.10	0.73	0.00	2								
	II	2.01	0.00	2	0		0	0.95	0.48	0.95	2.95	0.53	0.00	2								
	III	2.01	0.00	2	0			0	0	0.00	2.00	0.36	0.00	2								
Oktober	I	2.12	0.00	2									0.00	2								
	II	2.12	0.00	2									0.00	2								
	III	2.12	0.21	2									0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2								
	II	1.89	4.13	2									2.95	2								
	III	1.89	4.41	2									3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2									2.55	2								
	II	1.75	2.73	2									1.95	2								
	III	1.75	5.32	2									3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Juli

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija								
			Re Padi	P	WLR	Koefisien Tanaman				EtC	NFR	DR	Re Pal	P	Koefisien Tanaman				EtC	NFR	DR
			(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(lt/dt)
Januari	I	1.85	6.51	2									4.65	2							
	II	1.85	1.61	2									1.15	2							
	III	1.85	5.67	2									4.05	2							
Pebruari	I	1.91	6.93	2									4.95	2							
	II	1.91	4.41	2									3.15	2							
	III	1.91	3.85	2									2.75	2							
Maret	I	1.74	2.94	2									2.10	2							
	II	1.74	2.03	2									1.45	2							
	III	1.74	8.89	2									6.35	2							
April	I	1.40	5.32	2									3.80	2							
	II	1.40	6.30	2									4.50	2							
	III	1.40	3.01	2									2.15	2							
Mei	I	1.31	1.61	2									1.15	2							
	II	1.31	0.84	2									0.60	2							
	III	1.31	0.00	2									0.00	2							
Juni	I	1.25	0.00	2									0.00	2							
	II	1.25	0.00	2									0.00	2							
	III	1.25	0.00	2									0.00	2							
Juli	I	1.27	0.00	2	0	LP	LP	LP	LP	9.94	9.94	1.77	0.00	2							
	II	1.27	0.00	2	0	1.1	LP	LP	LP	9.94	9.94	1.77	0.00	2							
	III	1.27	0.00	2	0.83	1.1	1.1	LP	LP	9.94	9.94	1.77	0.00	2							
Agustus	I	1.59	0.00	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	1.75	5.41	0.96	0.00	2							
	II	1.59	0.00	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	1.72	5.38	0.96	0.00	2							
	III	1.59	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	1.70	5.36	0.95	0.00	2							
September	I	2.01	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	2.11	5.77	1.03	0.00	2							
	II	2.01	0.00	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	2.04	5.70	1.02	0.00	2							
	III	2.01	0.00	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.98	5.64	1.00	0.00	2							
Oktober	I	2.12	0.00	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.35	4.18	0.74	0.00	2							
	II	2.12	0.00	2	0	0	0.95	0.48	1.01	3.01	0.54	0.00	2								
	III	2.12	0.21	2	0	0	0	0	0.00	1.79	0.32	0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2									0.55	2							
	II	1.89	4.13	2									2.95	2							
	III	1.89	4.41	2									3.15	2							
Desember	I	1.75	3.57	2									2.55	2							
	II	1.75	2.73	2									1.95	2							
	III	1.75	5.32	2									3.80	2							

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Agustus

Bulan	Periode	Ea0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						Kc1	Kc2	Kc3	Kc				
Januari	I	1.85	6.51	2								4.65	2									
	II	1.85	1.61	2								1.15	2									
	III	1.85	5.67	2								4.05	2									
Pebruari	I	1.91	6.93	2								4.95	2									
	II	1.91	4.41	2								3.15	2									
	III	1.91	3.85	2								2.75	2									
Maret	I	1.74	2.94	2								2.10	2									
	II	1.74	2.03	2								1.45	2									
	III	1.74	8.89	2								6.35	2									
April	I	1.40	5.32	2								3.80	2									
	II	1.40	6.30	2								4.50	2									
	III	1.40	3.01	2								2.15	2									
Mei	I	1.31	1.61	2								1.15	2									
	II	1.31	0.84	2								0.60	2									
	III	1.31	0.00	2								0.00	2									
Juni	I	1.25	0.00	2								0.00	2									
	II	1.25	0.00	2								0.00	2									
	III	1.25	0.00	2								0.00	2									
Juli	I	1.27	0.00	2								0.00	2									
	II	1.27	0.00	2								0.00	2									
	III	1.27	0.00	2								0.00	2									
Agustus	I	1.59	0.00	2	0	LP	LP	LP	LP	10.15	10.15	1.81	0.00	2								
	II	1.59	0.00	2	0	1.1	LP	LP	LP	10.15	10.15	1.81	0.00	2								
	III	1.59	0.00	2	0.83	1.1	1.1	LP	LP	10.15	10.15	1.81	0.00	2								
September	I	2.01	0.00	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	2.21	5.87	1.05	0.00	2								
	II	2.01	0.00	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	2.18	5.84	1.04	0.00	2								
	III	2.01	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	2.14	5.80	1.03	0.00	2								
Oktober	I	2.12	0.00	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	2.23	5.89	1.05	0.00	2								
	II	2.12	0.00	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	2.16	5.82	1.04	0.00	2								
	III	2.12	0.21	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	2.09	5.54	0.99	0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.20	3.26	0.58	0.55	2								
	II	1.89	4.13	2	0		0	0.95	0.48	0.90	-1.23	0.00	2.95	2								
	III	1.89	4.41	2	0			0	0	0.00	-2.41	0.00	3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2								2.55	2									
	II	1.75	2.73	2								1.95	2									
	III	1.75	5.32	2								3.80	2									

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan September

Bulan	Periode	E0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi	P	WLR	Koefisien Tanaman				Etc	NFR	DR	Re Pal	P	Koefisien Tanaman				Etc	NFR	DR	
			(mm/hari)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(l/dt)	(mm/hari)	(mm/hari)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc	(mm/hari)	(mm/hari)	(l/dt)	
Januari	I	1.85	6.51	2								4.65	2									
	II	1.85	1.61	2								1.15	2									
	III	1.85	5.67	2								4.05	2									
Pebruari	I	1.91	6.93	2								4.95	2									
	II	1.91	4.41	2								3.15	2									
	III	1.91	3.85	2								2.75	2									
Maret	I	1.74	2.94	2								2.10	2									
	II	1.74	2.03	2								1.45	2									
	III	1.74	8.89	2								6.35	2									
April	I	1.40	5.32	2								3.80	2									
	II	1.40	6.30	2								4.50	2									
	III	1.40	3.01	2								2.15	2									
Mei	I	1.31	1.61	2								1.15	2									
	II	1.31	0.84	2								0.60	2									
	III	1.31	0.00	2								0.00	2									
Juni	I	1.25	0.00	2								0.00	2									
	II	1.25	0.00	2								0.00	2									
	III	1.25	0.00	2								0.00	2									
Juli	I	1.27	0.00	2								0.00	2									
	II	1.27	0.00	2								0.00	2									
	III	1.27	0.00	2								0.00	2									
Agustus	I	1.59	0.00	2								0.00	2									
	II	1.59	0.00	2								0.00	2									
	III	1.59	0.00	2								0.00	2									
September	I	2.01	0.00	2	0 LP	LP	LP	LP	10.47	10.47	1.86	0.00	2									
	II	2.01	0.00	2	0	1.1 LP	LP	LP	10.47	10.47	1.86	0.00	2									
	III	2.01	0.00	2	0.83	1.1	1.1 LP	LP	10.47	10.47	1.86	0.00	2									
Oktober	I	2.12	0.00	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	2.34	6.00	1.07	0.00	2								
	II	2.12	0.00	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	2.30	5.96	1.06	0.00	2								
	III	2.12	0.21	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	2.27	5.72	1.02	0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.98	4.87	0.87	0.55	2								
	II	1.89	4.13	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.92	1.45	0.26	2.95	2								
	III	1.89	4.41	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.86	1.11	0.20	3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	1.11	0.37	0.07	2.55	2								
	II	1.75	2.73	2	0		0	0.95	0.48	0.83	0.10	0.02	1.95	2								
	III	1.75	5.32	2	0			0	0	0.00	-3.32	0.00	3.80	2								

Tabel NFR dan DR pada awal tanam bulan Oktober

Bulan	Periode	Et0 (mm/hari)	Tanaman Padi										Tanaman Palawija									
			Re Padi (mm/hari)	P (mm/hari)	WLR (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	Re Pal (mm/hari)	P (mm/hari)	Koefisien Tanaman				Etc (mm/hari)	NFR (mm/hari)	DR (lt/dt)	
						Kc1	Kc2	Kc3	Kc						Kc1	Kc2	Kc3	Kc				
Januari	I	1.85	6.51	2	0.83	0	0.95	0.95	0.63	0.83	-2.85	0.00	4.65	2								
	II	1.85	1.61	2	0		0	0.95	0.48	0.62	1.01	0.18	1.15	2								
	III	1.85	5.67	2	0			0	0	0.00	-3.67	0.00	4.05	2								
Pebruari	I	1.91	6.93	2	0 LP	LP	LP	LP		10.38	3.45	0.61	4.95	2								
	II	1.91	4.41	2									3.15	2								
	III	1.91	3.85	2									2.75	2								
Maret	I	1.74	2.94	2									2.10	2								
	II	1.74	2.03	2									1.45	2								
	III	1.74	8.89	2									6.35	2								
April	I	1.40	5.32	2									3.80	2								
	II	1.40	6.30	2									4.50	2								
	III	1.40	3.01	2									2.15	2								
Mei	I	1.31	1.61	2									1.15	2								
	II	1.31	0.84	2									0.60	2								
	III	1.31	0.00	2									0.00	2								
Jun	I	1.25	0.00	2									0.00	2								
	II	1.25	0.00	2									0.00	2								
	III	1.25	0.00	2									0.00	2								
Juli	I	1.27	0.00	2									0.00	2								
	II	1.27	0.00	2									0.00	2								
	III	1.27	0.00	2									0.00	2								
Agustus	I	1.59	0.00	2									0.00	2								
	II	1.59	0.00	2									0.00	2								
	III	1.59	0.00	2									0.00	2								
September	I	2.01	0.00	2									0.00	2								
	II	2.01	0.00	2									0.00	2								
	III	2.01	0.00	2									0.00	2								
Oktober	I	2.12	0.00	2	0 LP	LP	LP	LP		10.57	10.57	1.88	0.00	2								
	II	2.12	0.00	2	0	1.1 LP	LP	LP		10.57	10.57	1.88	0.00	2								
	III	2.12	0.21	2	0.83	1.1	1.1 LP	LP		10.57	10.36	1.85	0.15	2								
Nopember	I	1.89	0.77	2	1.66	1.1	1.1	1.1	1.10	2.08	4.97	0.88	0.55	2								
	II	1.89	4.13	2	1.66	1.05	1.1	1.1	1.08	2.05	1.58	0.28	2.95	2								
	III	1.89	4.41	2	1.66	1.05	1.05	1.1	1.07	2.02	1.27	0.23	3.15	2								
Desember	I	1.75	3.57	2	1.66	1.05	1.05	1.05	1.05	1.84	1.93	0.34	2.55	2								
	II	1.75	2.73	2	1.66	0.95	1.05	1.05	1.02	1.78	2.71	0.48	1.95	2								
	III	1.75	5.32	2	1.66	0.95	0.95	1.05	0.98	1.72	0.06	0.01	3.80	2								





## BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan anak ke- satu dari empat bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 25 Mei 1996 di Surabaya. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi studi ke SD Muhammadiyah 6 Surabaya (2002-2008), SMPN 13 Surabaya (2008-2011), dilanjutkan ke SMAN 14 Surabaya (2011-2014), kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Sipil Fakultas Vokasi Departement Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 3114030004 serta mengambil bidang studi Bangunan air. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. BRANTAS ABIPRAYA. Demikian sedikit biodata penulis yang dapat dilampirkan.

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan anak ke-dua dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 29 Juli 1996 di Nganjuk. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi studi ke SDN Ploso 4 Nganjuk (2002-2008), SMPN 3 Nganjuk (2008-2011), dilanjutkan ke SMAN 2 Nganjuk (2011-2014), kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Sipil Fakultas Vokasi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa NRP 3114030026. serta mengambil bidang studi Bangunan Air. Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi Mahkamah Mahasiswa ITS 2016, Penulis pernah melakukan Kerja Praktek di PT. BRANTAS ABIPRAYA. Demikian sedikit biodata penulis yang dapat dilampirkan.